



Klimastatusbericht 2015

- **Aktuelle Ergebnisse des Klimamonitorings**
- **Langzeitliche Klimaänderungen in Frankfurt/Main**

Herausgeber und Verlag:

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach

Postfach 10 04 65
63004 Offenbach

Redaktion:

Karsten Friedrich
e-mail: karsten.friedrich@dwd.de

Juliane Breyer
e-mail: juliane.breyer@dwd.de

Der Klimastatusbericht im Internet:

www.ksb.dwd.de

ISSN 1437 - 7691
ISSN 1616 - 5063 (Internet)

Titelbild: Klimareferenzstation Frankfurt/Main (Quelle: K. Friedrich)

Urheberrecht

Alle Rechte an den hier präsentierten Informationen liegen, soweit nicht anders vermerkt, beim DWD. Die Nutzung der nachfolgenden Informationen bzw. Teilen davon ist nur unter Nennung des Quellenhinweises „Deutscher Wetterdienst“ gestattet. Eine kommerzielle Nutzung ohne ausdrücklich Genehmigung ist untersagt.

Vorwort



Sehr geehrte Damen und Herren,

das Jahr 2015 legte in Bezug auf die Jahresmitteltemperatur einen regelrechten Endspurt hin. Trotz des zweifachen Auftretens der bisher höchsten in Deutschland gemessenen Temperatur im Juli und August war das Jahr bis Ende Oktober zwar sehr warm, aber nicht auf Rekordkurs. Dann kam ein sehr milder November. Die Jahresmitteltemperatur von Januar bis November rückte unter die zehn wärmsten bisher beobachteten Werte, aber ein Podiumsplatz schien nicht mehr in Sicht. Der Dezember stellte allerdings so ziemlich alles Bisherige in den Schatten. Es wurde eine Temperaturanomalie von +5,7 K gegenüber der international gültigen Referenzperiode 1961-1990 beobachtet. Um +1,7 K wurde der bisherige Rekord der Mitteltemperatur für den Dezember überboten. Am Ende des Jahres erreichte die Jahresmitteltemperatur Platz 2 zusammen mit den Jahren 2000 und 2007.

Weitere Ergebnisse des Klimamonitorings, der Agrarmeteorologie, der Ozonbeobachtungen sowie ein Rückblick auf das Klima in Europa und in der Welt finden Sie wie gewohnt in den „Gelben Seiten“.

Neben dem Standardteil wird in diesem Klimastatusbericht ein Sonderthema beleuchtet. Dies beschäftigt sich mit den Klimaänderungen in Frankfurt/Main.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen des vorliegenden Berichts.

Ihr

Klaus-Jürgen Schreiber
Leiter Abteilung Klimaüberwachung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Die Witterung in Deutschland 2015	5
Extremwertkarte	18
Das Strahlungsjahr 2015	19
Die Witterung in den deutschen Küstengebieten 2015	20
Objektive Wetterlagenklassen 2015	24
Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2015	31
Wetter und Wein 2015	49
Ergebnisse von Messungen in der freien Atmosphäre	51
Ozon in der Stratosphäre	57
Rückblick auf das Klima in Europa im Jahr 2015	60
Das Klima 2015 im globalen Maßstab	81
Langzeitliche Klimaänderungen in Frankfurt/Main	86
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	103
Autorenverzeichnis	104

Die Witterung in Deutschland 2015

K. Friedrich, F. Imbery

Mit einer Mitteltemperatur von 9,9°C war das **Jahr 2015** mit den Jahren 2000 und 2007 das bisher 2.-wärmste in Deutschland beobachtete Jahr. Damit ergibt sich gegenüber der international gültigen Klimareferenzperiode 1961-1990 eine Abweichung von +1,7 K. Das Jahr begann recht mild. Der Januar war +2,7 K zu warm. Die folgenden Monate waren wärmer als normal, aber noch unter +2 K Abweichung. Erst die Sommermonate Juli und August erreichten wieder Anomalien über +2 K. Ende Oktober lag die Jahresmitteltemperatur 2015 für den Zeitraum Januar - Oktober auf dem 16. Platz. Der sehr milde November brachte den Gesamtzeitraum auf Platz 6 und der extrem milde Dezember mit einer Anomalie von +5,7 K katapultierte das Gesamtjahr sogar noch auf Platz 2. Nach dem bisher wärmsten in Deutschland beobachteten Jahr 2014 mit einer Durchschnittstemperatur von 10,3°C und einer Anomalie von +2,1 K, folgte wieder ein sehr warmes Jahr. Damit wurden nun 7 der 10.-wärmsten Jahre im 21. Jahrhundert beobachtet.

Am 5. Juli 2015 wurde die bisher höchste Temperatur in Deutschland gemessen. Im fränkischen Kitzingen wurden 40,3°C registrierte. Dieser Rekord wurde an der gleichen Station am 7. August erneut erreicht.

Im Vergleich zu 1961-1990 waren insgesamt 10 Monate des Jahres zu warm und nur 2 zu kalt (September und Oktober, Abb. 1).

Hinsichtlich des Niederschlags war das Jahr als Ganzes gesehen zu trocken. Mit 701,3 mm erreichte es

88,9 % der vieljährigen Mittelwerte (1961-1990) und war damit im Vergleich zu beiden Bezugsperioden um -117,5 mm bzw. -87,6 mm zu trocken. Als 103.-nassestes oder 33.-trockenstes Jahr seit 1881 und als 88.-nassestes oder 28.-trockenstes seit 1901 ordnet es sich in die zu trockenen Jahre der Klimazeitreihen ein.

Bei der Betrachtung der Einzelmonate sind erhebliche Unterschiede erkennbar. 10 Monate waren trockener und entsprechend 2 Monate nasser als normal (Abb. 1). Im November wurden die meisten Niederschläge beobachtet. Mit 101 mm wurde das Niederschlagsoll um +52,3 % übertroffen. Der trockenste Monat war der Februar mit lediglich 22,3 mm und einem Niederschlagsdefizit von -27,1 %. Nur der Januar und der November waren zu feucht, alle anderen Monate waren zu trocken.

Insgesamt brachte das Jahr 2015 im Deutschlandmittel 1742,6 Sonnenstunden und somit deutlich mehr Sonnenschein als im vieljährigen Vergleich. Der Überschuss betrug +198,6 Stunden oder +12,9 % gegenüber der internationalen Referenzperiode. Damit ordnet sich das Jahr als 7.-sonnenscheinreichstes Jahr seit 1951 in die vorliegende Klimazeitreihe ein.

Der höchste Sonnenscheinüberschuss wurde mit +71,6 % im Dezember beobachtet. Im Januar schien die Sonne nur an 35,3 Stunden, dies entspricht einem Defizit von -19 %. Nach den Monaten August und Juli war der April mit 224,5 Stunden der 3.-sonnenscheinreichste Monat des Jahres 2015.

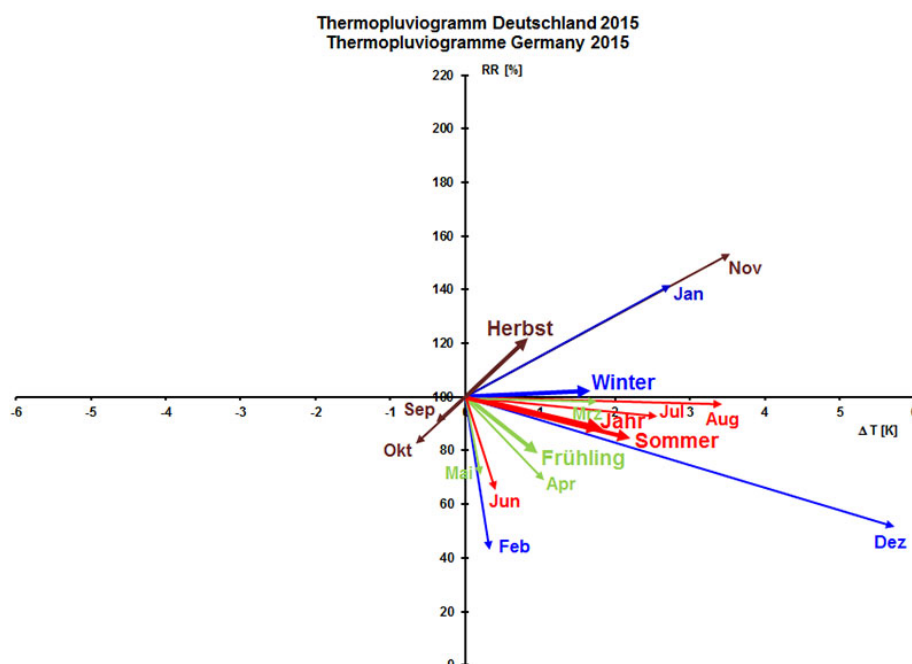


Abb. 1: Thermopluviogramm für Deutschland 2015 (Bezugszeitraum 1961-1990)

Das Thermopluviogramm (Abb. 1) zeigt Abweichungen der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe vom klimatologischen Mittel für die Einzelmonate, die Jahreszeiten und das Jahr 2015 zum Referenzzeitraum 1961-1990. Die zugrundeliegenden Werte sind Flächenmittel für die Bundesrepublik Deutschland. Der Ursprung des Diagramms repräsentiert jeweils den klimatologischen Mittelwert für die einzelnen Monate, Jahreszeiten und das Jahr. Die Abszisse stellt die Temperaturabweichungen der aktuellen Flächenmittel vom klimatologischen Flächenwert dar und ist linear in Kelvin [K] unterteilt. Die Ordinate zeigt den Anteil des aktuellen Flächenmittels der Niederschlagshöhe im Verhältnis zum vieljährigen Flächenmittel in Prozent [%].

Für den Winter werden der Dezember des zurückliegenden Jahres und die Monate Januar und Februar des gezeigten Jahres betrachtet. In der Abb. 1 wird deutlich, wie warm vor allem der Winter und der Sommer und damit das Jahr 2015 waren. Nur der September und der Oktober waren kälter als normal. Der Witterungsverlauf des Jahres lässt sich folgendermaßen beschreiben:

Nachdem 2014 bereits das wärmste Jahr seit Beginn der systematischen Wetteraufzeichnungen war, begann auch 2015 mit einer positiven Temperaturanomale im **Januar**. Bei meist westlichen Wetterlagen wies die erste Hälfte des Monats teilweise frühlingshafte Temperaturen auf, während in der zweiten Januarhälfte in ganz Deutschland Wintertemperaturen einzogen. Insgesamt fiel der Monat sehr mild und niederschlagsreich sowie sonnenscheinarm aus.

Bei der Betrachtung der Parameter Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer ergibt sich für den **Februar 2015** für Deutschland ein recht unterschiedliches Bild. Während die Regionen nördlich der Mainlinie etwas zu warm waren, war es südlich davon zu kalt. Je weiter man sich von dieser Linie entfernt umso größer werden die Abweichungen vom langjährigen Mittel. Beim Niederschlag ergibt sich eine Teilung in Ost und West. Im äußersten Westen wurde das Niederschlagssoll erreicht, je weiter man sich aber nach Osten bewegt umso größer wird das Niederschlagsdefizit für den Februar 2015. Östlich der Linie Hamburg/Freiburg wurden meist nur 50 % des langjährigen Mittelwertes für den Niederschlag beobachtet. Weiter östlich waren es sogar nur 25 %. In Punkto Sonnenschein treten Sachsen, das südliche Brandenburg und Teile von Thüringen und Sachsen-Anhalt besonders hervor. Dort wurde mehr als das 1,5 fache der vieljährigen Sonnenscheindauer registriert.

Bis zur Hälfte des meteorologischen **Winters 2014/2015** war von Winter nicht viel zu merken. Einem deutlich zu warmen Dezember folgte eine sehr milde erste Januarhälfte. Erinnerungen an den letzten Winter mit einem Totalausfall im Flachland wurden wach. Regen, Wind und

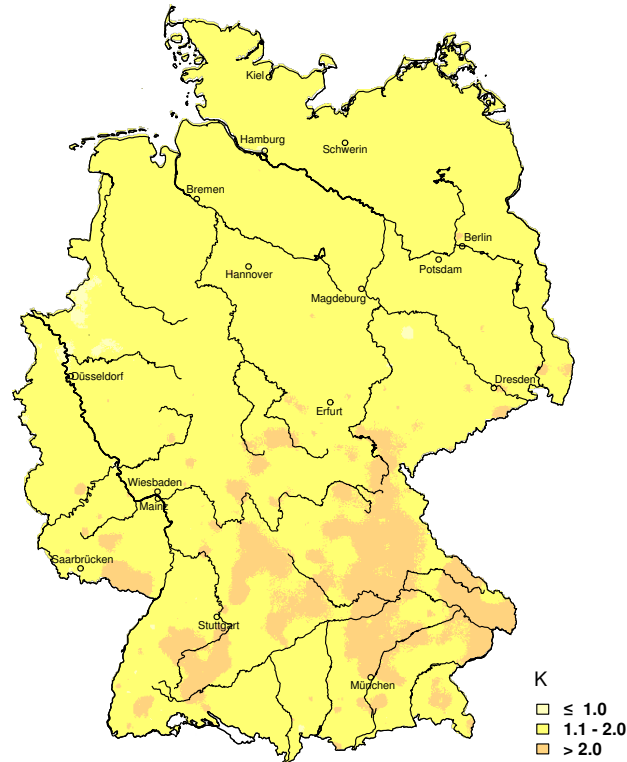
wenig Sonnenschein prägte diese Periode. Nur ein kurzer Wintereinbruch zwischen Weihnachten und Neujahr brachte Schnee auch im Flachland. Dann besann sich der Winter, die Temperaturen gingen zurück und bewegten sich um die vieljährigen Mittelwerte. In den Mittelgebirgen und den Alpen gab es reichlich Schnee, der teilweise auch im Flachland einige Tage liegen blieb. Mitte Februar lag Deutschland unter Hochdruckeinfluss, was zu Hochnebel im Flachland und Sonnenschein in den Bergen führte. Im Nordosten Deutschlands und Teilen Bayerns wurden die höchsten Temperaturanomalien beobachtet. Hohe Niederschlagsanomalien wurden besonders im Norden Deutschlands registriert. Vor allem in der ersten Winterhälfte wurde viel Niederschlag beobachtet. Für Schleswig-Holstein ergibt sich der 3.-nasseste Winter seit 1881.

Der **März** zeigte sich meist freundlich mit viel Sonnenschein und tagsüber schon recht angenehmen Temperaturen. Die Nächte waren aber verbreitet noch recht kalt. Der stürmische Monatsausklang brachte deutschlandweit sehr hohe Windgeschwindigkeiten, forderte Todesopfer und hohe Schäden. In Verbindung mit den Tiefdruckgebieten wurde das starke Niederschlagsdefizit zum Monatsende fast ausgeglichen. Die höchsten Temperaturanomalien wurden im Nordosten beobachtet, der meiste Sonnenschein in Baden-Württemberg und Bayern. Fiel im Norden deutlich mehr Niederschlag als im vieljährigen Mittel, war es im Süden verhältnismäßig trocken. In der oberrheinischen Tiefebene wurde meist nur die Hälfte des üblichen Niederschlags beobachtet.

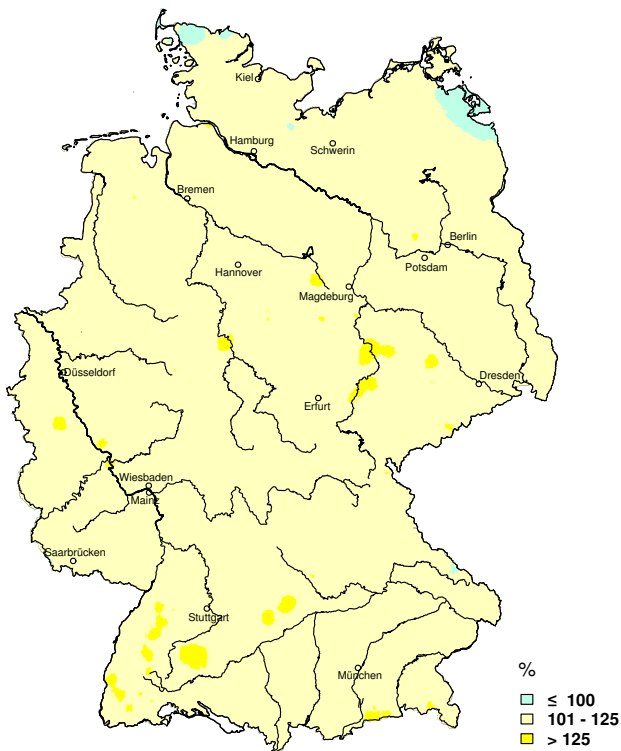
Der **April 2015** zeigte sich von seiner Sonnenseite. Besonders im Südwesten wurden viele Sonnenstunden beobachtet. Im Nordosten war der Sonnenscheinüberschuss nicht ganz so hoch. Die Tagestemperaturen stiegen schon auf angenehme Werte. In der Nacht kühlte es sich aber auf Grund des wolkenfreien Himmels wieder deutlich ab. Im Mittel war der April etwas wärmer als normal. Niederschlag wurde fast ausschließlich am Monatsanfang und am Monatsende beobachtet. Dabei wurde aber das Niederschlagssoll bei weitem nicht erreicht. Dies führte zu einer erhöhten Waldbrandgefahr und auch zu kleineren Waldbränden. Im Norden und im Großraum des Einzugsgebiets des Mains blieb die Niederschlagssumme im April großflächig unterhalb von 50 % des Monatssolls.

Der **Mai 2015** zeigte sich je nach Parameter und Region recht unterschiedlich. Nördlich der Linie Düsseldorf Görlitz war es in Bezug auf die internationale klimatologische Referenzperiode 1961-1990 kälter als normal, südlich davon wurden höhere Temperaturen als normal beobachtet. Beim Niederschlag ist eine Dreiteilung zu erkennen. Während in der Mitte Deutschlands nur sehr wenig Niederschlag gemessen wurde (verbreitet unter 20 mm), konnten im Süden von Deutschland durch wiederholte Tiefdruckgebiete im Mittelmeerraum deutlich über 100 mm registriert werden. Auch in der Küstenregion

**Temperaturabweichung Jahr 2015
vom vieljährigen Mittel 1961-1990
Temperature Anomaly Year 2015**



**Sonnenscheindauer Jahr 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Sunshine Year 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**



**Niederschlagshöhe Jahr 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Precipitation Year 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**

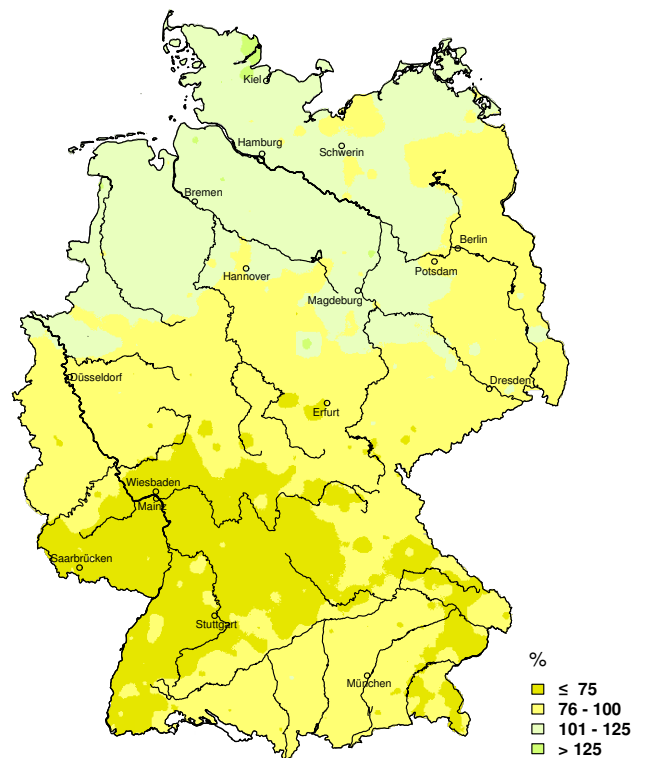
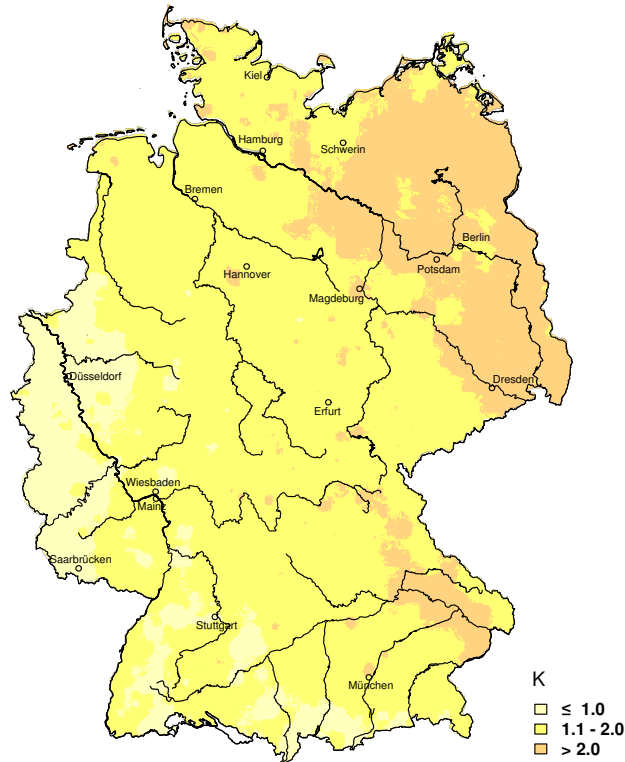
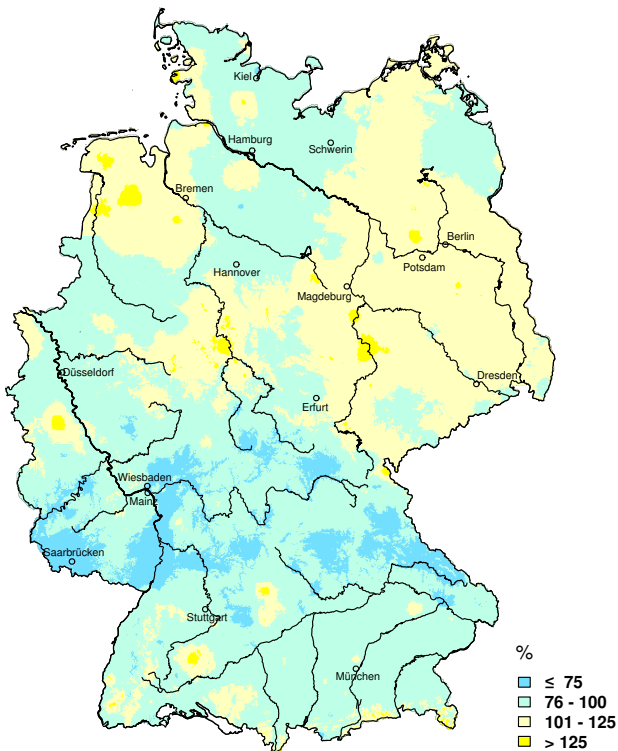


Abb. 2: Jahresabweichung 2015 vom vieljährigen Mittel 1961-1990

**Temperaturabweichung Winter 2014/15
vom vieljährigen Mittel 1961-1990
Temperature Anomaly Winter 2014/15**



**Sonnenscheindauer Winter 2014/15
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Sunshine Winter 2014/15
in percent of the long-term mean 1961-1990**



**Niederschlagshöhe Winter 2014/15
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Precipitation Winter 2014/15
in percent of the long-term mean 1961-1990**

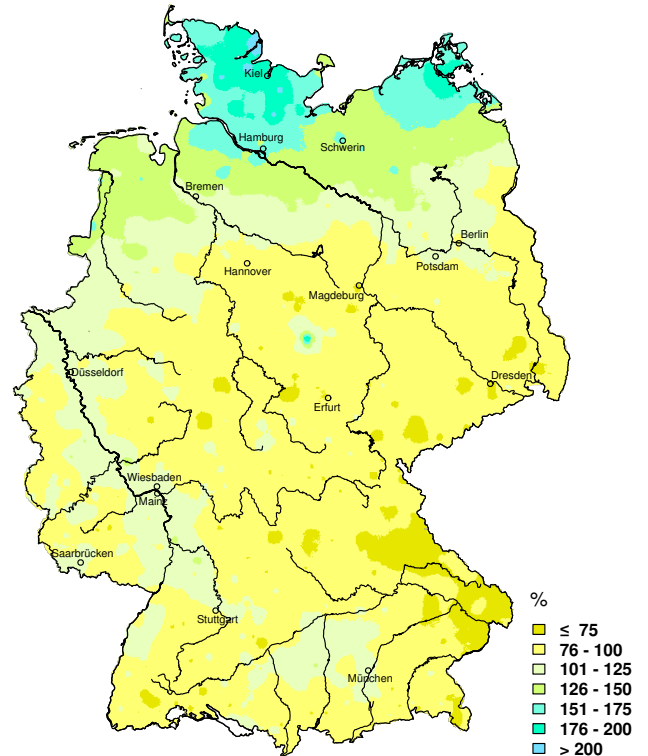
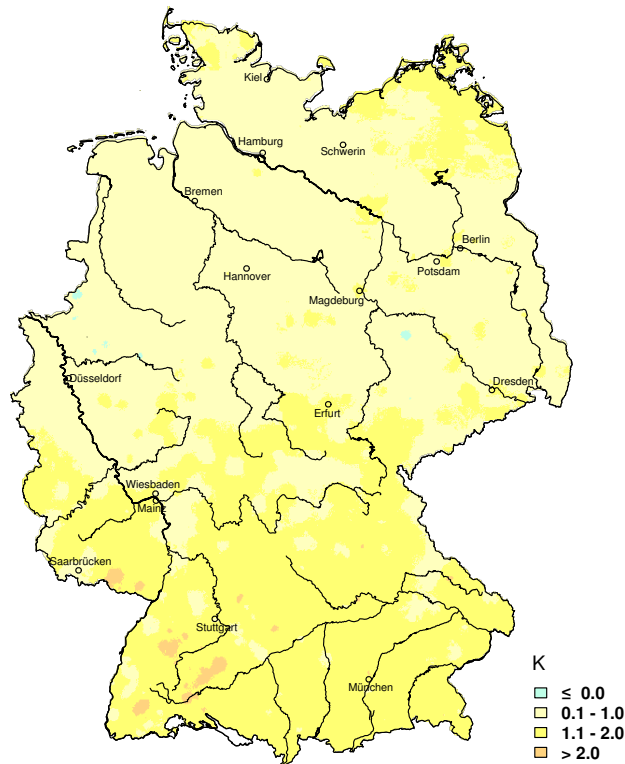
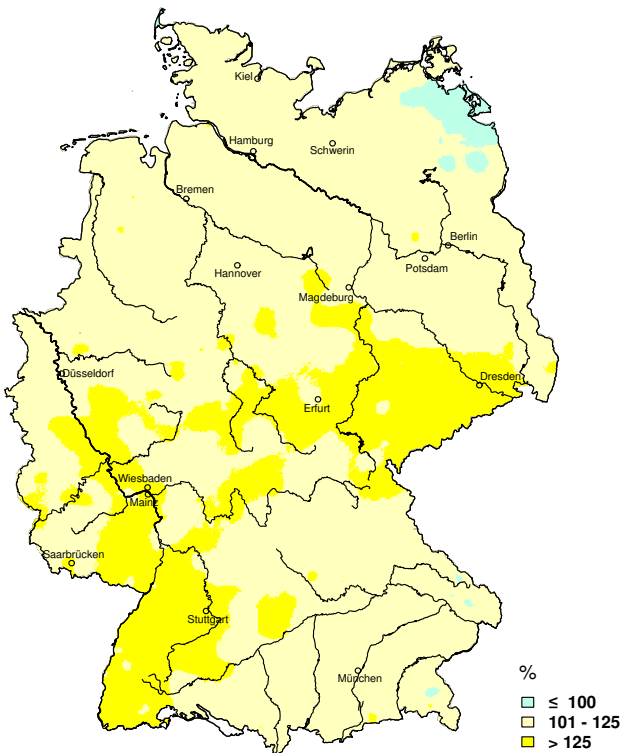


Abb. 3: Abweichung der Jahreszeit Winter des vieljährigen Mittel 1961-1990

**Temperaturabweichung Frühling 2015
vom vieljährigen Mittel 1961-1990
Temperature Anomaly Spring 2015**



**Sonnenscheindauer Frühling 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Sunshine Spring 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**



**Niederschlagshöhe Frühling 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Precipitation Spring 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**

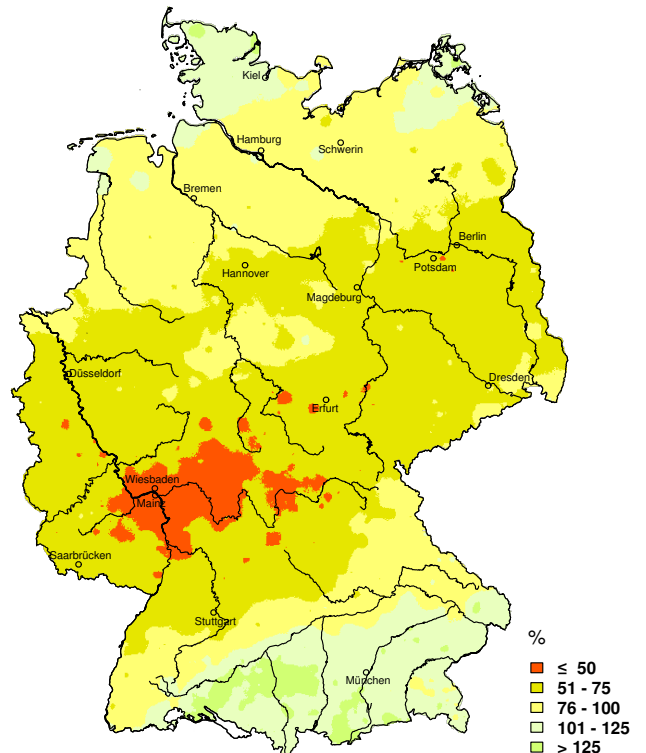


Abb. 4: Abweichung der Jahreszeit Frühling des vieljährigen Mittel 1961-1990

von Nord- und Ostsee wurde das Niederschlagsoll erreicht oder deutlich überschritten. In den Bundesländern Hessen, Thüringen und Sachsen-Anhalt gehört der Mai zu den 10-trockensten Maimonaten seit 1881, in Sachsen wurde sogar der 2.-trockenste Mai beobachtet. In Thüringen, Sachsen-Anhalt und Sachsen wurde das Sonnenscheinsoll im Mai erreicht bzw. überschritten. In den anderen Bundesländern blieb die Sonnenscheindauer unter dem Mittelwert der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-1990. Im Südosten Bayerns war die beobachtete Sonnenscheindauer am geringsten.

Alle drei **Frühlings**monate waren im Vergleich zum internationalen klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 wärmer und trockener als normal. Die größte Temperaturanomalie wurde im März, die geringste im Mai beobachtet. Die Niederschlagssumme im März blieb nur knapp unter dem vieljährigen Mittel, im April und Mai wurden nicht einmal dreiviertel der Referenzmenge gemessen. Der sonnenscheinreichste Frühlingsmonat war der April. Obwohl der Mai etwas sonnenscheinärmer war als normal, ist für den Frühling ein deutlicher Sonnenscheinüberschuss zu verzeichnen.

Der **Juni 2015** ist im Flächenmittel für Deutschland zwar etwas zu warm ausgefallen, aber im nördlichen Teil Deutschlands wurden gegenüber der internationalen klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 etwas geringere Temperaturen als im vieljährigen Mittel beobachtet. Einer meist zu warmen ersten Monatshälfte folgte ab Mitte des Monats eine kühle Phase. Zum Monatsende zeigte sich die Witterung sommerlich warm. Fast deutschlandweit blieb die Summe der Monatsniederschläge unter dem vieljährigen Mittel. In vielen Regionen im Nordosten Deutschlands erreichte die Monatssumme nicht einmal die Hälfte der zu erwartenden Niederschläge. Der Juni ist der dritte Monat in Folge, der regional deutlich zu trocken ausgefallen ist mit Folgen für die Bodenfeuchte und die Wasserstände in den Flüssen. Im Westen lag die Sonnenscheindauer etwas über dem vieljährigen Mittel, im Osten etwas darunter.

Der **Juli 2015** war im Flächenmittel für Deutschland deutlich zu warm. Dabei ist für die Temperaturanomalie ein Nord-Süd-Gradient zu erkennen. Während im Norden die Temperaturanomalien oberhalb der vieljährigen Mittel (1961-1990) lagen, war es im Süden mehr als +4 K zu warm. Der Juli begann mit einer extremen Hitzewelle, die ihren Höhepunkt am 4. und 5. Juli erreichte. Am 5. Juli wurde an der DWD-Station in Kitzingen ein neuer Temperaturrekord mit 40,3°C gemessen. Nach einer kurzen Abkühlung folgte ab der Monatsmitte die zweite Hitzewelle. Der Monatsausklang gestaltete sich eher kühl. Der Juli 2015 ist der sechste Monat in Folge, der zu trocken ausfällt. Während im Norden das Monatssoll des Niederschlags meist erreicht oder sogar deutlich übertroffen wurde, fiel zwischen Main und Alpenraum nur die Hälfte des normalen Niederschlags. Besonders im Raum

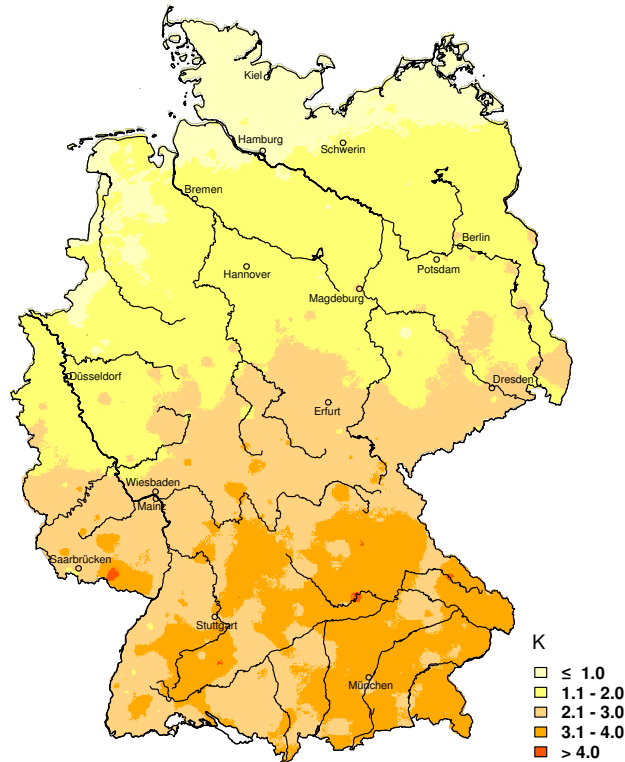
Saarland, Rheinland-Pfalz, Südhessen, nördliches Baden-Württemberg und Unterfranken ergibt sich über die letzten Monate ein extremes Niederschlagsdefizit. In den letzten 6 Monaten sind in dieser Region gebietsweise weniger als 50 % des normalen Niederschlags gefallen. Nur im Norden wurde das Sonnenscheinsoll nicht erreicht. Besonders viele Sonnenscheinstunden wurden in Baden-Württemberg und Bayern beobachtet.

Der **August 2015** ist, wie schon der Juli im Flächenmittel für Deutschland deutlich zu warm ausgefallen. Die Abweichung der Temperatur von den vieljährigen Mittelwerten (1961-1990) betrug in den östlichen und südlichen Teilen Deutschlands flächenhaft über +3 K, teilweise bis zu über +5 K, während im Westen und in den Küstenregionen Abweichungen von unter -2 K bis -3 K vorherrschten. Nachdem es im Juli 2015 einen neuen Hitzerekord mit 40,3°C in Kitzingen gab, wurde am 7. August während der dritten Hitzewelle in diesem Sommer an derselben Station dieser Rekordwert erneut erreicht. Während in Süddeutschland und dem äußersten Osten des Landes sehr wenige Niederschläge fielen, wurden im Westen und den mittleren Teilen Deutschlands die vieljährigen Mittelwerte zum Teil stark überschritten. Der Mittelwert der Niederschläge für ganz Deutschland nimmt damit im August 2015 einen mittleren Platz im vieljährigen Vergleich ein. Außer im Bereich der Nordsee wurden in ganz Deutschland die vieljährigen mittleren Sonnenscheinstunden übertroffen.

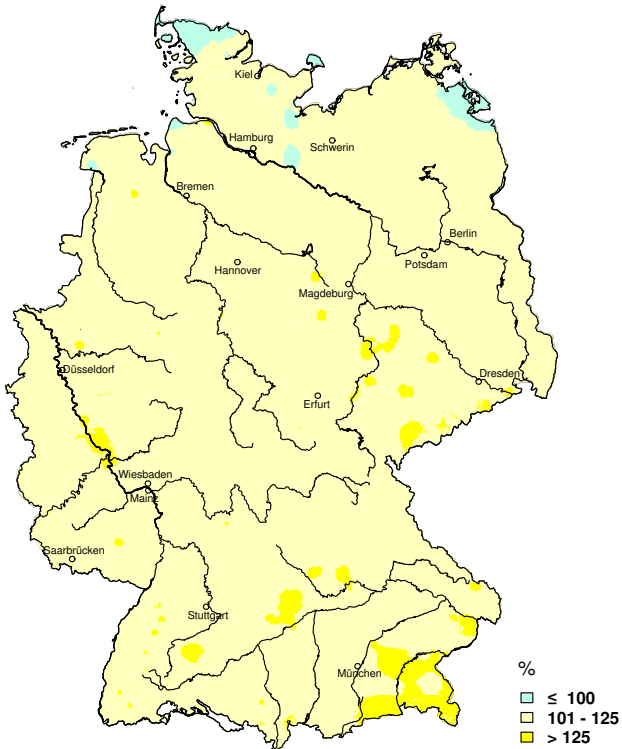
Im **Sommer 2015** folgte einem durchschnittlichen, etwas zu trockenen Monat Juni ein deutlich zu warmer und regional zu trockener Monat Juli. Der Juli begann mit einer extremen Hitzewelle. Nach einer kurzen Abkühlung folgte ab der Monatsmitte eine zweite Hitzewelle. Der Monatsausklang gestaltete sich eher kühl. Der August war ebenfalls deutlich zu warm mit mittleren Niederschlagswerten. Am 5. Juli und 7. August wurde an der DWD-Station in Kitzingen ein neuer Temperaturrekord mit 40,3°C gemessen.

Der **September 2015** ist seit August letzten Jahres der erste Monate, der bezüglich der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-1990 kälter ausfiel. Nach einem kühlen Monatsstart kletterten die Temperaturen zu Beginn der zweiten Monatsdekade über die vieljährigen Mittelwerte. Diese Episode hielt deutschlandweit etwa eine Woche an. Danach schwankten die Tagesmitteltemperaturen um das vieljährige Mittel. Nur an der Nord- und Ostseeküste und in kleinen Gebieten im Osten und Südosten war es im Monatsmittel wärmer als normal. Im Westen und Südwesten zeigten sich die größten negativen Abweichungen. Der September ist der achte Monat in Folge, der zu trocken ausfällt. In Teilen von Rheinland-Pfalz wurden die höchsten Niederschlagsanomalien beobachtet. In weiten Teilen Bayerns wurden weniger als 50 % des normalen Niederschlags gemessen. An der Ostseeküste und an der Oder wurden

**Temperaturabweichung Sommer 2015
vom vieljährigen Mittel 1961-1990
Temperature Anomaly Summer 2015**



**Sonnenscheindauer Sommer 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Sunshine Summer 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**



**Niederschlagshöhe Sommer 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Precipitation Summer 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**

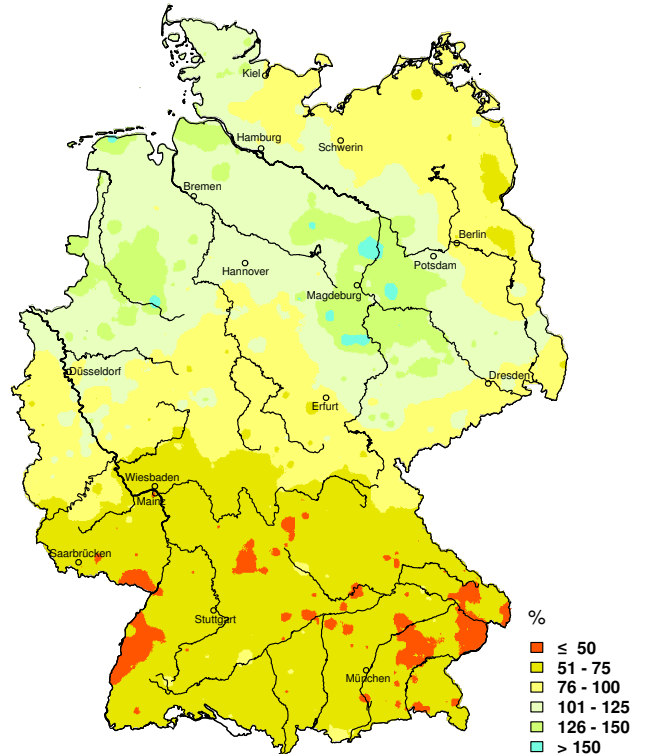
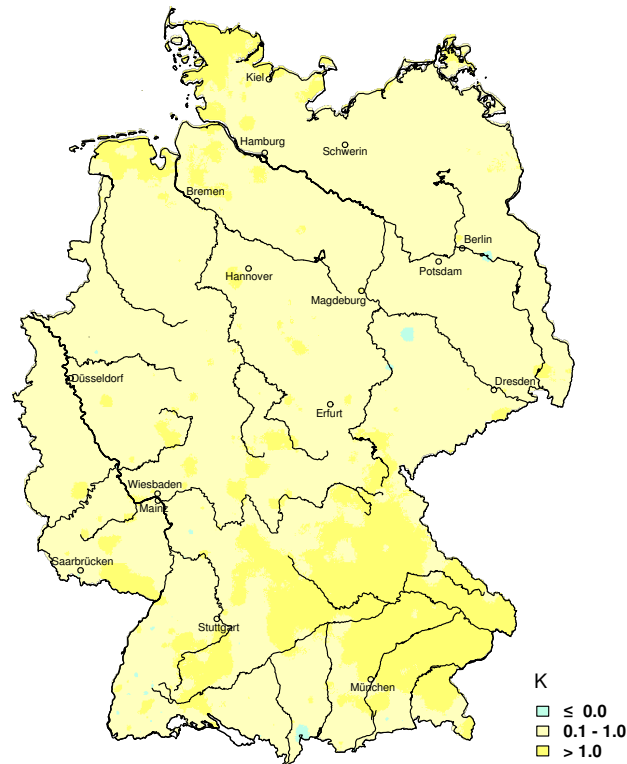
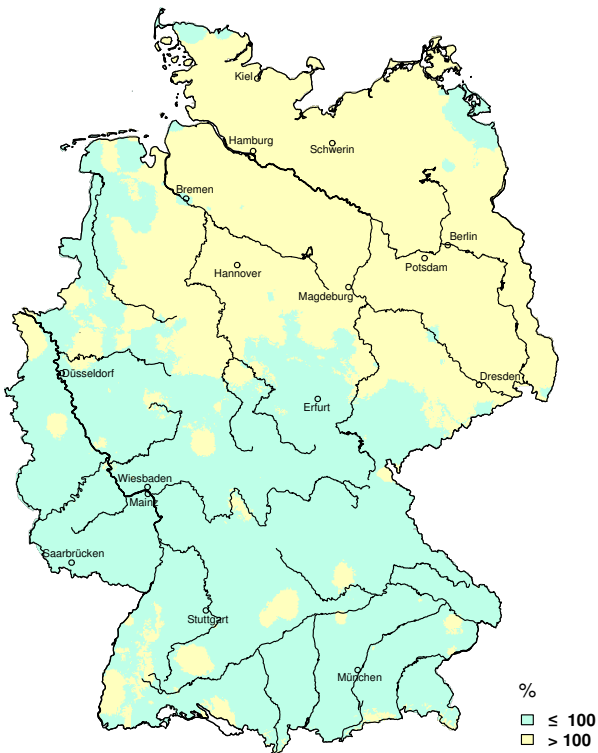


Abb. 5: Abweichung der Jahreszeit Sommer des vieljährigen Mittel 1961-1990

**Temperaturabweichung Herbst 2015
vom vieljährigen Mittel 1961-1990
Temperature Anomaly Autumn 2015**



**Sonnenscheindauer Herbst 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Sunshine Autumn 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**



**Niederschlagshöhe Herbst 2015
in Prozent des vieljährigen Mittels 1961-1990
Precipitation Autumn 2015
in percent of the long-term mean 1961-1990**

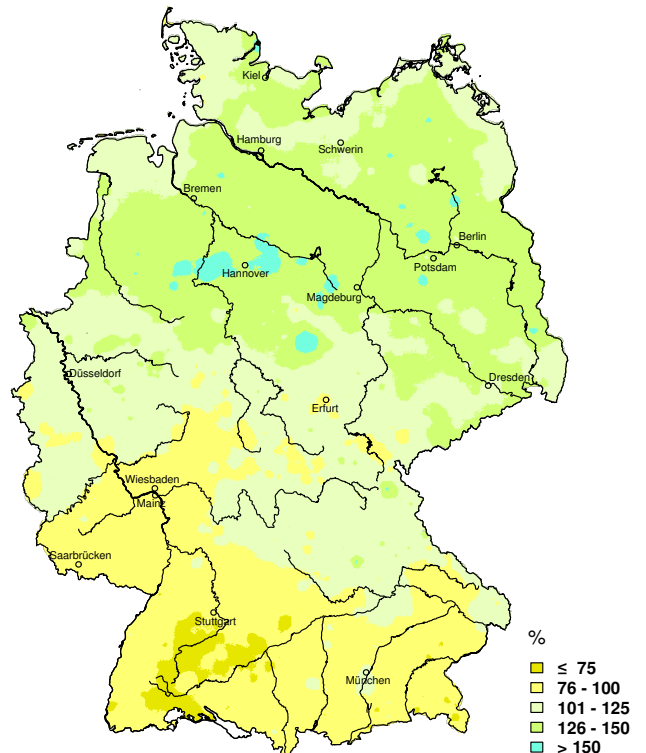


Abb. 6: Abweichung der Jahreszeit Herbst des vieljährigen Mittel 1961-1990

die meisten Sonnenstunden registriert und im gesamten Nordosten wurde das Sonnenscheinsoll überschritten. Die bayerischen Alpen blieben dagegen deutlich unter dem vieljährigen Mittel.

Der **Oktober 2015** war ein zu kühler und trockener Herbstmonat. Bei relativ trüben Bedingungen lag der Mittelwert der Lufttemperatur unter dem vieljährigen Mittel. Die Niederschlagssumme lag ebenfalls unter dem vieljährigen Mittelwerten, allerdings mit zum Teil deutlichen regionalen Über- und Unterschreitungen.

Der **November 2015** war ein ausgesprochen milder Monat. Mit einer Durchschnittstemperatur von 7,5°C war dieser Monat der wärmste November seit Beginn der systematischen Messungen in Deutschland. Großräumige Tiefdruckkomplexe mit Kernen im Raum Island und Hochdruckgebieten in Südwesteuropa transportierten warme Luftmassen aus dem Mittelmeergebiet nach Deutschland. Insbesondere am zweiten Novemberwochenende wurden an vielen Orten Deutschlands neue Temperaturrekorde für den November aufgestellt. Um den 20. November lag die mittlere Temperatur noch bei ca. 10°C. Erst das letzte Monatsdrittel konnte mit durchschnittlichen Novembertemperaturen aufwarten. Dabei gab es in Süddeutschland überdurchschnittlich viele Sonnenstunden und Niederschlagssummen unter dem vieljährigen Mittel, während es in vielen Gebieten Norddeutschlands teilweise hohe positive Abweichungen bei den Niederschlägen gab.

Während der September und Oktober 2015 etwas kühler als die vieljährigen Mittelwerte waren, hat der November dieses Jahr einen neuen Temperaturrekord aufgestellt. Deutschlandweit lag der gesamte **Herbst 2015** dementsprechend nur etwas über dem vieljährigen Mittel. Dabei lag die deutschlandweite Niederschlagssumme etwas über den üblichen Werten, die Sonnenscheindauer entsprach den vieljährigen Strahlungswerten, allerdings mit hoher zeitlicher Variabilität.

Der **Dezember 2015** war der wärmste Dezember seit dem Beobachtungsbeginn 1881. Die bisher wärmsten Dezembermonate wurden in den Jahren 1934 und 1974 registriert. Der Dezember 2015 übertraf den alten Monatsrekord von 4,8°C um +1,7 K auf 6,5°C. So eine große Abweichung von den bisherigen Monatsrekorden gab es in den letzten 75 Jahren nicht. Im Januar 1940 wurde eine Mitteltemperatur von -9°C beobachtet. Diese lag um -1,7 K unter dem damals kältesten Januarmonat aus dem Jahr 1893 mit -7,3°C. Hochdruckgebiete über dem Mittelmeer und großräumige Tiefdruckkomplexe über Nordwesteuropa transportierten warme und trockene Luftmassen aus dem westlichen Mittelmeerraum nach Deutschland. Selten fielen die Temperaturen auf für den Monat typische Werte. Erst am Monatsende gelangte der Nordosten unter den Einfluss kälterer Luftmassen. Am Rhein wurden in der Monatsmitte zweistellige Minimumtemperaturen beobachtet. Nur südlich des Mains wurden Temperaturanomalien von unter +5 K registriert. Der Dezember war sehr trocken, großräumig fielen nur 50 -75 % der vieljährigen Niederschlagssumme. Nur ganz

Land	Eistage (Maximum unter 0 °C)		Frosttage (Minimum unter 0 °C)		Sommertage (Maximum mind. 25 °C)		Heiße Tage (Maximum mind. 30 °C)		Tage mit mind. 10 mm Niederschlag		Tage mit mind. 20 mm Niederschlag		Tage mit mind. 30 mm Niederschlag		Tage mit Hagel (Mai-September)		Tage mit einer Schneedecke	
	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90	2015 (Tage)	Proz. von 1961-90
Hamburg	2,0	9,9	42,2	59,9	25,8	121,6	7,8	254,1	23,4	128,1	4,6	148,3	1,1	168,6	0,1	21,9	2,5	8,1
Bremen	1,1	5,9	36,9	53,4	24,0	117,3	5,5	195,8	20,1	120,5	3,7	127,3	1,1	161,1	1,4	207,9	2,9	10,8
Berlin	1,1	4,5	60,2	74,3	51,1	142,1	20,8	296,3	11,1	94,3	1,4	57,4	0,0	3,9	0,3	24,5	9,2	24,5
Schleswig-Holstein	3,6	17,0	39,6	52,1	17,1	113,5	3,5	225,0	25,9	125,6	3,8	105,6	1,0	128,7	1,4	271,8	8,9	26,6
Niedersachsen	2,5	12,0	45,6	60,7	30,8	138,0	8,8	271,0	21,4	118,6	4,0	121,7	0,9	120,8	0,8	115,8	7,0	21,8
Nordrhein-Westfalen	3,3	19,1	51,7	73,3	35,6	142,3	11,9	295,0	22,5	94,4	5,5	108,5	1,4	111,4	0,3	34,2	10,7	34,5
Rheinland-Pfalz	6,0	27,6	67,2	79,7	46,6	160,9	19,5	390,7	16,3	73,5	3,4	70,1	0,6	47,8	0,6	77,3	19,2	51,3
Saarland	4,3	22,5	68,9	85,9	52,3	175,2	20,9	435,0	18,5	64,4	3,2	46,2	0,8	40,3	0,4	48,4	18,1	60,4
Baden-Württemberg	10,3	38,3	95,9	94,5	52,9	170,2	25,0	527,0	21,0	69,9	6,3	78,0	2,8	101,2	3,0	273,3	37,0	63,1
Hessen	7,2	28,2	76,2	84,8	46,1	166,4	19,0	430,1	15,0	70,0	2,6	56,0	0,7	55,7	1,2	158,4	19,2	43,6
Bayern	13,1	38,1	105,5	92,7	53,8	182,6	25,6	657,3	22,1	78,2	6,1	79,6	2,0	77,2	1,3	117,5	42,7	60,1
Mecklenburg-Vorpommern	3,1	11,9	52,7	64,1	29,4	149,1	7,7	294,5	14,3	112,5	1,6	70,3	0,2	43,2	1,1	150,4	9,7	24,1
Brandenburg	2,3	8,9	70,0	80,5	50,2	145,1	19,9	308,9	12,9	110,5	2,2	96,0	0,3	45,4	0,3	36,2	10,0	25,6
Sachsen-Anhalt	3,0	12,1	68,0	80,5	46,7	146,7	17,9	310,1	13,3	111,8	3,3	129,8	1,0	146,2	1,0	155,3	11,9	31,4
Sachsen	7,4	23,3	81,4	86,1	48,1	154,1	21,6	393,5	16,1	93,3	3,5	89,2	1,1	86,6	1,3	143,0	26,4	47,8
Thüringen	10,5	31,0	89,1	87,4	44,0	171,9	17,5	457,8	13,7	76,0	2,7	72,1	0,9	82,2	1,6	204,6	30,3	52,5
Deutschland	6,7	25,3	73,6	81,2	43,3	158,4	17,6	416,5	18,8	89,0	4,2	86,7	1,2	86,4	1,2	135,9	21,8	46,2

Tab. 1: Gebietsmittel der Anzahl der Tage mit klimatologischen Besonderheiten und Abweichung von der internationalen klimatologischen Referenzperiode in %

im Norden wurde das Niederschlagssoll erreicht oder übertroffen. In ganz Deutschland wurden überdurchschnittlich viele Sonnenstunden beobachtet, Bayern und Baden-Württemberg registrierten sogar den sonnenreichsten Dezember.

In den Tab. 1-4 sind die Anzahl der Tage, an denen bestimmte klimatische Bedingungen herrschten, sowie die Gebietsmittelwerte der Temperatur, der Niederschlagshöhe, der Sonnenscheindauer für die deutschen Bundesländer in den einzelnen Monaten, sowie in den meteorologischen Jahreszeiten und im gesamten Jahr zusammengestellt. Dabei ist jeweils der aktuelle Wert zusammen mit der Abweichung vom Wert der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90 angegeben.

Bei den Tagen mit klimatischen Besonderheiten spiegeln sich Charakteristika des Jahres wieder. Die Anzahl der Frosttage (Temperaturminimum unter 0°C) und der Eistage (Temperaturmaximum unter 0°C) ist deutlich unter den vieljährigen Mittelwerten. Der fast komplett ausgefallene Winter zeichnet sich hier ab. In den südlichen Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Thüringen) wurden noch die meisten Eistage beobachtet. Die Anzahl auch in diesen Bundesländern blieb mit 30-40 % deutlich unter dem vieljährigen Mittel. Bei der Anzahl der Frosttage fiel die Abweichung nicht so stark aus. Es wurden aber nur etwa 80 % der sonst üblichen Frosttage beobachtet. Der ausgefallene Winter ist auch an der geringen Anzahl von Schneedeckentagen zu erkennen. Hier wurden weniger als die Hälfte der sonst üblichen Anzahl von Schneedeckentagen registriert. Die heftigen Hitzeperioden im Juli und August führten zu überdurchschnittlich vielen Sommertagen (Temperaturmaximum mindestens 25°C) und Heißen Tagen (Temperaturmaximum mindestens 30°C). Bei den Sommertagen lag die Anzahl bei etwa dem 1,5-fachen. Die Anzahl der Heißen Tage lag Deutschlandweit 3-mal höher als normal. Die Anzahl von Unwettern mit Hagel lag deutlich über dem vieljährigen Mittelwert.

Die Anzahl der Tage mit einer Niederschlagssumme von mindestens 10 mm lag vor allem im Nord deutlich über dem vieljährigen Mittelwert. Die Zahl der Tage mit einer Niederschlagssumme von mindestens 20 mm und mindestens 30 mm war im Nordwesten deutlich über dem vieljährigen Mittel. Im Mittel wurden deutschlandweit die vieljährigen Mittelwerte aber nicht erreicht.

Mitteltemperatur

Land	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr																	
	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90	Abw. von 1961-90																	
Hamburg	3,2	2,7	2,3	1,1	5,9	2,0	8,3	0,8	11,5	-0,9	15,0	-0,7	17,9	0,9	18,9	2,1	13,5	-0,2	9,1	-0,7	8,2	3,0	8,0	6,0	8,6	0,6	17,3	0,8	10,2	0,6	3,0	1,8	10,2	1,4
Bremen	3,2	2,3	2,6	1,2	5,9	2,0	8,3	0,7	11,6	-0,8	15,1	-0,4	18,2	1,4	19,0	2,3	13,5	-0,2	9,4	-0,4	8,6	3,4	8,5	6,3	8,6	0,6	17,4	1,0	10,5	0,9	3,2	1,7	10,3	1,4
Berlin	3,0	3,4	1,8	1,2	6,1	2,1	9,3	0,9	13,4	-0,2	16,9	-0,2	19,9	1,6	22,1	4,3	14,2	0,1	8,5	-1,1	7,7	3,0	7,1	5,9	9,6	0,9	19,6	1,8	10,1	0,6	2,5	2,0	10,8	1,7
Schleswig-Holstein	3,0	2,7	2,1	1,4	5,4	2,3	7,7	1,1	10,7	-0,8	14,1	-0,9	17,0	0,7	18,2	2,0	13,3	0,1	9,3	-0,2	8,1	3,1	7,7	5,9	7,9	0,8	16,4	0,6	10,2	1,0	2,8	1,9	9,7	1,4
Niedersachsen	3,0	2,4	2,1	1,0	5,6	1,7	8,2	0,7	11,7	-0,6	15,1	-0,3	18,2	1,5	19,1	2,6	13,2	-0,3	8,9	-0,7	8,4	3,5	8,3	6,4	8,5	0,6	17,5	1,3	10,2	0,9	2,9	1,7	10,2	1,6
Nordrhein-Westfalen	2,9	1,8	2,0	0,2	5,5	1,0	8,8	0,9	12,3	-0,1	15,7	0,3	18,8	1,9	19,1	2,5	12,9	-0,7	9,0	-0,8	8,8	3,7	8,4	6,1	8,9	0,6	17,9	1,6	10,2	0,7	2,8	1,1	10,3	1,3
Rheinland-Pfalz	1,9	1,7	1,0	-0,1	5,4	1,2	9,4	1,6	12,9	0,7	16,4	1,1	20,2	3,1	19,7	3,1	12,8	-0,7	8,6	-0,6	7,7	3,6	6,9	5,6	9,2	1,1	18,8	2,5	9,7	0,8	1,9	1,0	10,2	1,6
Saarland	1,8	1,3	1,1	-0,5	5,7	1,1	9,8	1,6	13,1	0,6	17,0	1,4	20,9	3,4	20,2	3,3	12,9	-0,8	8,9	-0,5	7,6	3,2	6,9	5,4	9,6	1,2	19,4	2,7	9,8	0,6	2,0	0,8	10,5	1,6
Baden-Württemberg	1,7	2,4	-0,7	-1,2	5,2	1,6	8,8	1,4	13,1	1,2	16,7	1,6	20,8	3,7	19,9	3,5	12,6	-0,7	8,4	-0,3	7,0	3,5	5,1	4,8	9,0	1,4	19,1	2,9	9,3	0,8	1,2	1,2	9,9	1,8
Hessen	1,8	2,2	0,8	0,2	5,0	1,2	8,7	1,2	12,5	0,4	15,9	0,7	19,7	2,8	19,8	3,4	12,6	-0,6	8,3	-0,6	7,3	3,5	6,5	5,7	8,7	0,9	18,5	2,3	9,4	0,8	1,7	1,4	9,9	1,7
Bayern	1,1	3,0	-1,2	-0,6	4,6	1,7	8,1	1,1	12,7	1,0	16,4	1,5	20,3	3,7	20,2	4,2	12,5	-0,3	7,9	-0,2	6,5	3,7	4,3	4,9	8,5	1,3	19,0	3,2	8,9	1,0	0,6	1,6	9,4	1,9
Mecklenburg-Vorpommern	2,8	3,4	1,5	1,5	5,2	2,4	8,0	1,3	11,3	-0,6	14,8	-0,6	17,8	1,0	19,4	2,8	13,6	0,3	8,5	-0,8	7,3	2,8	6,9	5,8	8,2	1,1	17,3	1,0	9,8	0,8	2,3	2,1	9,8	1,6
Brandenburg	2,8	3,6	1,4	1,3	5,6	2,1	8,7	0,9	12,7	-0,4	16,1	-0,4	19,4	1,5	21,3	3,9	13,8	0,0	8,2	-1,1	7,4	3,0	6,8	5,9	9,0	0,9	19,0	1,7	9,8	0,6	2,3	2,2	10,3	1,6
Sachsen-Anhalt	2,8	3,1	1,4	1,0	5,5	1,8	8,6	0,8	12,6	-0,2	16,0	-0,1	19,5	1,9	20,6	3,4	13,4	-0,3	8,2	-1,2	7,9	3,4	7,3	6,1	8,9	0,8	18,7	1,8	9,8	0,6	2,3	1,9	10,3	1,6
Sachsen	2,1	3,3	0,7	1,0	5,0	1,8	7,9	0,6	12,6	0,3	15,6	0,0	19,8	2,6	21,0	4,2	13,1	-0,3	7,9	-1,1	7,4	3,6	6,3	6,0	8,5	0,9	18,8	2,3	9,4	0,7	1,7	2,1	9,9	1,8
Thüringen	1,6	2,9	0,2	0,6	4,4	1,6	7,9	1,1	12,2	0,5	15,4	0,5	19,3	2,9	19,9	3,9	12,4	-0,4	7,6	-0,8	7,2	3,9	6,0	6,0	8,1	1,0	18,2	2,4	9,0	0,8	1,2	1,8	9,5	1,9
Deutschland	2,2	2,7	0,7	0,3	5,2	1,7	8,4	1,0	12,3	0,2	15,8	0,4	19,4	2,5	19,9	3,4	13,0	-0,3	8,4	-0,6	7,5	3,5	6,5	5,7	8,6	0,9	18,4	2,1	9,6	0,8	1,9	1,7	9,9	1,7

Tab. 2: Gebietsmittel der Temperatur in °C und Abweichung von der internationalen Referenzperiode in K

Niederschlagshöhe

Land	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Dezember		Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Jahr	
	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90	2015	1961-90
Hamburg	105,7	172,3	27,6	66,2	77,6	141,0	26,1	52,6	52,1	89,3	31,1	44,3	106,9	138,6	103,8	147,0	85,5	125,6	43,4	72,5	128,7	191,3	46,6	66,2	155,8	95,6	241,8	110,9	257,5	131,9	263,9	151,4	834,9	111,4
Bremen	87,5	147,4	34,3	85,5	67,9	133,5	28,8	60,1	41,9	70,0	34,8	47,6	118,6	157,9	102,1	144,4	72,0	117,3	39,8	68,2	122,0	185,7	41,8	65,4	138,6	87,4	255,5	116,7	233,8	126,1	211,1	128,3	791,5	109,0
Berlin	76,7	181,1	8,6	24,5	39,9	108,4	22,6	56,1	18,5	34,0	45,0	64,4	71,1	133,5	34,0	57,6	32,1	70,4	63,3	181,2	74,6	155,9	28,3	53,1	81,0	61,6	150,2	82,4	170,1	132,5	136,5	104,6	514,9	89,9
Schleswig-Holstein	109,9	171,0	28,5	68,5	72,2	137,2	24,3	49,5	68,4	124,2	35,1	50,9	127,8	159,6	75,3	103,0	78,0	103,5	47,6	85,0	156,0	187,7	73,0	99,7	162,9	105,0	238,2	107,2	281,6	121,5	307,1	170,7	894,1	113,5
Niedersachsen	87,7	141,5	29,7	67,1	66,6	121,7	36,2	69,6	38,4	62,7	36,5	47,8	113,7	156,4	102,9	146,3	65,7	109,5	48,9	87,9	127,1	191,4	40,4	57,7	141,3	84,1	253,1	115,3	241,7	132,8	206,2	116,3	793,8	106,5
Nordrhein-Westfalen	96,2	125,2	40,0	69,6	68,3	96,0	40,6	65,6	34,3	47,7	44,4	52,7	87,5	106,2	122,9	168,7	81,6	121,6	45,7	73,3	124,2	157,8	49,4	56,0	143,2	69,9	254,8	106,4	251,6	120,9	223,1	100,1	835,0	95,4
Rheinland-Pfalz	88,2	132,3	32,9	57,5	43,9	69,1	38,2	66,8	27,2	38,8	58,4	76,6	40,5	56,3	64,2	92,0	81,3	135,7	24,8	39,1	86,6	115,2	35,9	47,2	109,3	57,3	163,2	74,9	192,7	97,1	199,8	100,0	622,2	77,1
Saarland	112,7	131,2	38,0	53,0	49,9	63,1	45,7	71,8	39,2	49,7	39,8	49,5	29,3	40,6	60,8	83,2	100,5	144,7	22,0	28,7	98,3	103,4	34,6	35,2	134,8	60,8	129,9	57,6	220,8	91,6	249,1	97,6	670,8	71,0
Baden-Württemberg	107,6	143,6	30,6	45,1	53,5	76,2	62,0	79,8	92,8	97,1	82,6	77,2	37,1	40,9	55,3	58,6	49,3	70,6	31,2	46,1	100,8	123,1	29,2	35,5	208,3	85,6	175,1	60,0	181,2	82,6	207,7	92,7	732,0	74,7
Hessen	81,1	128,4	24,4	46,9	48,4	78,6	37,6	63,9	22,5	31,9	45,5	56,9	62,0	85,2	66,7	96,7	60,5	105,4	31,8	53,9	96,1	134,7	40,2	52,1	108,5	56,8	176,3	79,3	188,4	100,4	175,5	91,0	618,8	78,0
Bayern	89,1	134,1	17,6	30,4	59,4	95,2	54,5	77,8	98,8	109,4	90,1	80,6	44,9	44,3	56,1	55,4	49,3	68,2	56,1	91,3	94,7	135,2	33,3	44,1	212,7	95,5	191,1	60,8	200,1	98,2	172,8	86,5	744,0	79,1
Mecklenburg-Vorpommern	78,4	173,2	12,5	39,8	51,1	124,5	28,0	66,9	44,5	86,7	37,8	60,4	71,4	108,9	59,4	101,2	44,5	87,5	49,0	116,6	90,2	173,3	39,7	76,3	123,6	92,1	168,6	90,2	183,7	126,8	187,9	144,3	606,5	102,0
Brandenburg	69,3	171,8	8,8	27,0	39,3	108,1	25,8	63,0	25,3	47,1	46,6	72,3	77,7	144,6	52,0	88,6	40,3	90,2	56,2	152,8	75,9	167,8	28,4	57,0	90,4	69,0	176,3	99,7	172,4	136,1	125,7	102,2	545,8	97,9
Sachsen-Anhalt	55,1	142,4	10,5	31,6	42,2	106,2	28,9	66,8	22,0	42,4	33,8	53,8	90,1	172,6	101,5	172,0	36,6	88,1	50,4	141,5	70,8	165,1	22,1	47,4	93,0	68,9	225,5	129,6	157,8	131,4	109,3	91,7	564,0	103,0
Sachsen	63,8	130,6	9,6	22,5	47,7	102,1	50,9	88,7	19,6	28,3	69,3	90,7	79,0	114,7	79,3	102,9	43,9	79,6	57,5	121,9	89,3	170,6	25,4	42,2	118,1	69,1	227,6	102,4	190,7	123,3	124,5	81,9	635,3	90,8
Thüringen	67,7	132,8	10,3	23,3	53,8	103,6	34,4	59,0	20,5	31,1	53,5	66,2	80,9	129,3	64,9	93,7	42,7	83,8	43,9	92,0	90,0	160,0	31,2	49,1	108,7	61,7	199,3	94,8	176,6	114,0	142,1	89,1	593,8	84,8
Deutschland	85,4	140,5	22,3	45,2	55,5	98,1	41,4	71,1	51,7	72,7	57,5	66,0	72,2	93,1	74,8	96,9	56,3	92,1	46,6	83,5	101,0	152,2	36,5	52,0	148,6	79,9	204,5	85,4	203,9	111,2	183,2	101,4	701,2	88,9

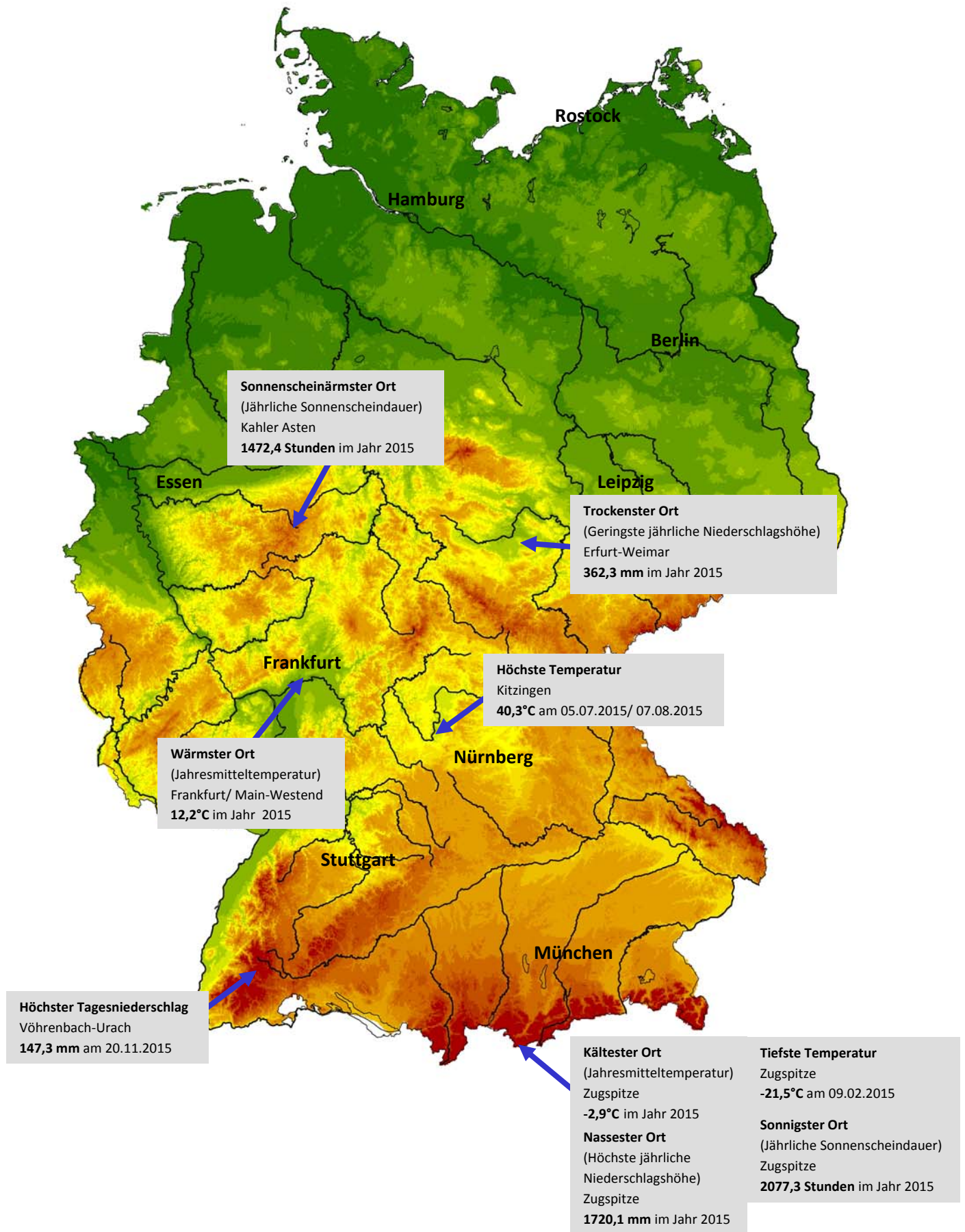
Tab. 3: Gebietsmittel der Niederschlagshöhe in mm und Abweichung von der internationalen Referenzperiode in %

Sonnenscheindauer

Land	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Dezember		Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Jahr	
	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90	Proz. von 2015	Proz. von 1961-90		
Hamburg	34,5	89,0	67,3	105,1	127,1	126,2	230,9	147,6	182,2	85,4	213,3	98,8	208,4	103,5	221,7	110,3	150,4	108,4	116,0	120,2	53,5	108,8	38,3	122,1	540,3	114,9	643,4	104,1	319,9	112,4	128,3	95,9	1643,7	109,1
Bremen	35,1	89,6	87,8	129,9	131,4	129,4	223,9	144,7	177,1	86,2	206,1	101,2	204,4	106,4	215,6	111,6	128,4	94,8	98,1	100,6	59,6	117,6	46,0	137,6	532,4	115,3	626,0	106,3	286,1	100,9	148,8	106,5	1613,4	109,4
Berlin	26,6	62,6	114,1	161,9	133,0	110,4	215,6	133,8	213,8	94,8	209,5	92,5	238,5	106,7	284,1	132,6	171,1	109,7	130,8	119,8	54,6	108,9	67,7	194,1	562,3	110,9	732,0	110,2	356,5	113,0	170,7	115,9	1859,2	113,7
Schleswig-Holstein	35,4	90,0	63,1	97,5	123,9	118,6	230,4	140,1	185,2	83,1	214,8	95,5	217,4	103,7	223,2	106,1	155,6	108,7	109,0	111,3	45,9	91,1	33,9	98,0	539,4	109,7	655,5	101,6	310,5	106,5	127,2	92,0	1637,8	104,5
Niedersachsen	33,3	87,0	85,1	129,1	127,9	125,2	219,6	145,1	179,7	89,2	203,1	101,6	211,5	110,5	223,4	116,6	132,2	98,0	101,0	102,5	61,9	127,1	48,3	153,6	527,2	115,8	638,0	109,4	295,1	104,6	141,0	104,2	1627,0	111,7
Nordrhein-Westfalen	35,7	85,8	90,7	125,4	121,8	118,0	223,0	150,9	182,8	96,3	213,3	116,1	212,1	113,2	225,9	123,7	127,7	94,5	99,6	93,3	62,9	119,7	65,0	175,6	527,6	119,7	651,3	117,6	290,2	98,6	146,9	97,4	1660,7	115,3
Rheinland-Pfalz	33,3	82,3	69,9	95,7	144,7	131,1	237,4	157,0	183,9	96,1	219,6	114,5	245,8	117,3	227,6	117,7	138,6	91,9	78,6	75,1	51,6	98,0	62,2	163,3	566,0	125,0	693,0	116,5	268,8	87,2	120,5	79,4	1693,2	112,3
Saarland	27,2	68,9	66,0	87,0	154,6	136,0	232,9	150,3	175,2	88,1	225,7	110,9	253,0	112,0	230,8	114,4	143,5	90,9	70,5	66,4	41,6	78,0	56,7	143,0	562,7	120,4	709,5	112,4	255,6	80,5	106,1	68,5	1677,8	106,8
Baden-Württemberg	40,9	83,9	86,4	113,4	168,0	143,6	234,4	155,5	176,2	93,2	206,1	102,2	278,3	121,7	243,4	118,1	144,6	87,1	85,1	72,9	94,2	153,1	104,0	233,8	578,6	126,6	727,8	114,4	324,0	94,1	150,5	88,8	1861,6	115,8
Hessen	27,5	76,9	74,7	108,1	135,2	126,7	235,9	155,6	187,9	97,0	203,5	106,1	241,9	118,5	231,6	122,0	123,6	86,9	91,2	91,7	52,2	120,7	47,7	150,3	599,0	123,7	677,0	115,6	267,0	93,7	118,3	86,7	1652,8	113,3
Bayern	39,0	78,6	83,3	107,1	152,0	127,8	222,6	145,0	163,1	84,3	199,2	99,8	274,2	124,0	260,1	128,6	130,9	81,6	90,6	76,8	86,8	152,7	81,8	187,2	537,7	115,4	733,6	117,8	308,3	92,0	145,1	84,9	1783,6	111,8
Mecklenburg-Vorpommern	33,9	82,9	86,3	128,2	124,5	109,7	219,8	131,4	197,6	83,9	214,3	90,7	228,7	102,7	267,7	123,3	166,8	108,1	119,8	114,3	44,0	84,0	42,7	116,9	541,9	105,0	710,7	105,2	330,6	106,1	144,9	100,6	1746,0	105,9
Brandenburg	29,9	68,4	110,1	156,7	131,3	109,5	220,1	135,4	217,5	97,0	208,1	92,4	243,8	109,2	278,2	130,6	167,0	107,3	122,6	112,0	56,2	111,4	63,2	174,3	569,0	112,3	730,1	110,4	345,9	109,6	166,1	110,9	1848,2	113,1
Sachsen-Anhalt	39,2	92,3	102,0	150,7	131,7	120,4	222,0	146,0	213,1	103,4	201,3	98,3	244,5	118,2	259,1	130,7	142,9	99,4	109,9	105,4	65,8	130,3	55,5	156,0	566,8	121,2	704,9	115,6	318,6	106,7	163,4	112,4	1787,0	117,4
Sachsen	34,3	69,2	114,9	163,5	144,6	131,8	213,6	142,9	223,2	111,1	196,3	97,8	261,4	124,7	263,1	132,4	146,4	99,0	112,5	95,4	69,6	129,9	74,8	182,5	581,4	126,3	720,9	118,4	328,6	102,9	173,1	107,7	1854,8	119,7
Thüringen	32,9	77,1	95,8	138,9	137,0	129,8	220,8	149,8	205,1	105,0	190,4	98,1	251,6	122,6	245,7	127,7	121,0	84,5	93,3	87,2	68,3	140,5	52,9	146,5	562,9	125,6	687,6	116,3	282,6	94,6	147,5	99,8	1714,7	115,4
Deutschland	35,2	80,7	88,0	123,2	139,1	125,0	224,5	146,0	187,0	92,8	205,4	101,1	245,1	116,3	246,3	123,5	139,8	93,5	99,4	91,6	67,5	127,9	65,2	171,5	550,6	118,0	696,9	113,6	306,7	98,7	145,6	95,2	1742,6	112,9

Tab. 4: Gebietsmittel der Sonnenscheindauer in Stunden und Abweichung von der internationalen Referenzperiode in %

Extremwertkarte



Das Strahlungsjahr 2015

M. Gerber

Das Jahr 2015 belegt mit dem deutschlandweiten Flächenmittel der Solarstrahlung von 1111 kWh/m² den dritten Platz nach 2003 und 2011. Der vieljährige Mittelwert von 1055 kWh/m² wird um 5,3 % überschritten.

Die Jahressummen (Abb. 1) der solaren Einstrahlung 2015 variieren zwischen 977 kWh/m² im Sauerland und im Norden von Schleswig-Holstein und oberhalb 1400 kWh/m² in höheren Lagen der Alpen. In der Nordwesthälfte Deutschlands liegen die Globalstrahlungswerte unter 1050 kWh/m², jedoch mit bis zu 2 % über den langjährigen Mittelwerten. In der Osthälfte Deutschlands und im Süden steigt das solare Angebot verbreitet über 1100 kWh/m². Neben der Ostseeküste von Fehmarn bis Rügen ist vor allem die Region an der Spree mit Werten von rund 1200 kWh/m² bevorzugt sowie das Alpenvorland und Teile des Oberrheintals mit über 1200 kWh/m². Die stärksten positiven Abweichungen sind mit über 5 % im östlichen Mittelgebirgsraum und im südlichen Brandenburg und bis zu 15 % in Südostsachsen zu verzeichnen. Das deutschlandweite Mittel der Globalstrahlung liegt in den Monaten Februar bis April, Juni bis August und November bis Dezember über den langjährigen Werten. Der Monat Januar bringt mit 83 % des langjährigen Wertes das geringste Strahlungsangebot. Im April und Dezember werden 118 % des Sollwertes erreicht.



Abb. 1: Globalstrahlungskarte 2015

Die Witterung in den deutschen Küstengebieten 2015

C. Lefebvre

Das Jahr 2015 war global betrachtet das bisher wärmste seit Beginn der Zeitreihen (bei der NOAA 1880). Deutschlandweit war das Jahr 2015 mit einer Mitteltemperatur von 9,9°C zusammen mit den Jahren 2000 und 2007 das 2.-wärmste seit Beginn der Beobachtungszeitreihe Ende des 19. Jahrhunderts. An den Küsten von Nord- und Ostsee lagen die Jahresmitteltemperaturen mit Werten zwischen 9,5 und 10,5°C um +1,4 bis +1,8 K über den Mittwerten des internationalen Referenzzeitraumes 1961-1990. Im Jahresverlauf war der August der wärmste Monat. Die Wintermonate fielen zu mild aus, wobei der Dezember der mit Abstand wärmste Dezember seit Beginn regelmäßiger Messungen war.

als in anderen Teilen Deutschlands - jedoch keine neuen Temperaturrekorde. In den Küstengebieten traten vom 2. bis 5. Juli und vom 3. bis 7. August Tageshöchsttemperaturen um 30°C auf. Der wärmste Tag des Jahres war vielfach der 4. Juli mit Höchstwerten zwischen 25,9°C auf Helgoland und rund 35°C in den Räumen Bremerförde und Rostock-Warnemünde wie auch auf der Insel Poel. In einigen wenigen Gebieten, wie in den Räumen Cuxhaven und Kiel fiel der wärmste Tag mit 30,4°C auf den 6. August.

Die Milde des Winters und die Wärme des Sommers spiegelt sich gut in der Anzahl der Frost- und Eistage

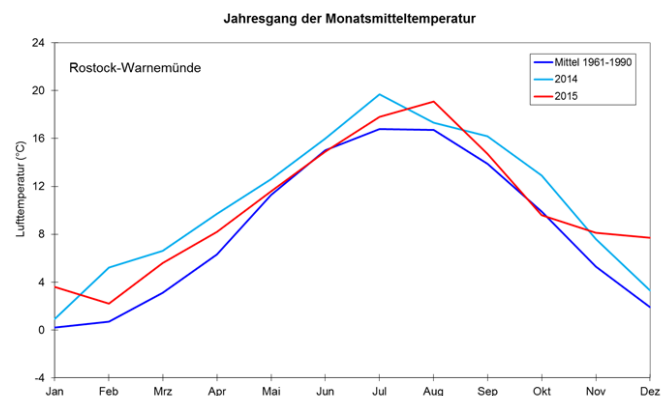
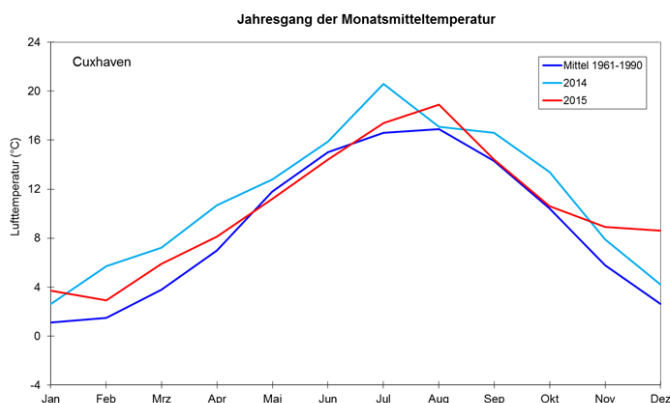


Abb. 1: Jahresgang der Lufttemperatur in Cuxhaven und Rostock-Warnemünde

Durchweg zu kühl fiel an den Küsten nur der Juni aus. Die Abweichungen waren mit bis zu -1 K aber gering. Auch Mai und Oktober waren gebietsweise geringfügig zu kühl, aber es gab auch Küstenabschnitte mit leicht überdurchschnittlichen Temperaturen. Die anderen Monate verzeichneten durchweg positive Anomalien, wobei der Dezember mit Monatsmittelwerten zwischen 6,5°C am Kap Arkona und 9°C auf Helgoland mit 4,5 bis 6 K die höchsten Abweichungen zu den Mittelwerten hervorbrachte. Er lieferte durchweg neue Rekordwerte, denn er war im Küstengebiet um bis zu 1 K wärmer als der bisher mildeste Dezember im Jahr 2006. Schon der November war mit Abweichungen um rund 3 K zum vieljährigen Monatsmittel sehr mild ausgefallen. In einigen Gebieten brachte auch er neue Rekordwerte, die aber nur leicht (meist um 0,1 bis 0,2 K) über den bisherigen aus den Jahren 2006 oder 2009 lagen.

Anders als im Vorjahr war der August der wärmste Monat (siehe Abb. 1). Mit Monatsmitteltemperaturen von 18 bis 19°C war er um 1,5 bis 2,5 K (am Kleinen Haff mit 20°C um 3 K) wärmer als der August im Mittel der Jahre 1961-1990. Die ersten Monatsdekaden von Juli und August waren jeweils von einer Hitzeperiode gekennzeichnet. Sie brachten in den Küstengebieten - anders

und die der Sommer- und heißen Tage wider. An den Küsten wurden 10 bis 20 Sommertage verzeichnet, auf den Inseln 1 bis 5 und am Kleinen Haff 31. Das waren bis zu 6 (am Kleinen Haff 13) mehr als im Durchschnitt. Davon waren bis zu 4 Tage heiße Tage (Tage mit einer Höchsttemperatur von 30°C und mehr) und damit bis zu 2 Tage mehr als gewöhnlich. Im Vorjahr war die Zahl der Sommertage insbesondere an den Küsten Niedersachsens und Schleswig-Holsteins noch um rund 10 Tage höher. Frost trat nicht einmal halb so oft auf wie im Mittel 1961-1990. Die Zahl der Frosttage bewegte sich meist zwischen 6 auf Helgoland und einigen Ostfriesischen Inseln und 33 an der westlichen Ostseeküste. Die höchste Anzahl wurde mit 67 am Kleinen Haff verzeichnet. Die Anzahl der Frosttage blieb damit um 25 bis 50 Tage (am Kleinen Haff um 18) unter den Mittelwerten des Zeitraums 1961-1990. Dauerfrost (Eistag) gab es verbreitet nur an einem Tag, maximal an 5 Tagen und damit an rund 10-20 Tagen weniger als im Mittel. Damit war die Anzahl der Frost- und Eistage noch geringer als im Vorjahr.

Während das Jahr im bundesweiten Mittel zu trocken ausfiel, verzeichneten die Küsten - mit Ausnahme vom äußersten Osten - überdurchschnittlich viel Niederschlag. Im Nordseeraum fielen rund 770 mm, auf den Inseln bis

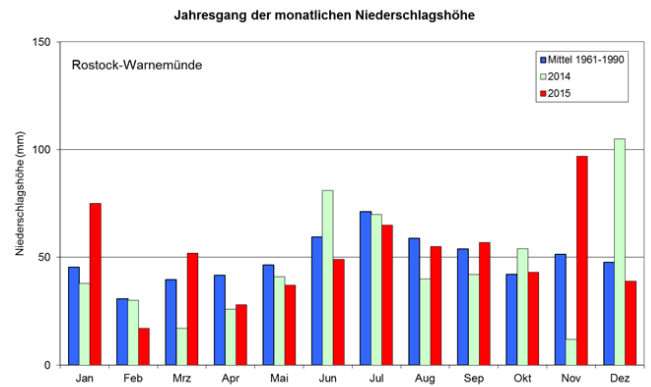
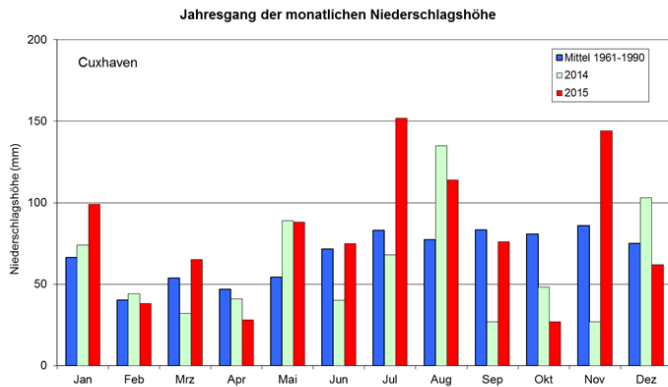


Abb. 2: Jahresgang der Niederschlagshöhe in Cuxhaven und Rostock-Warnemünde

800 mm und an den Küsten meist zwischen 840 und 970 mm. An der Ostsee gab es vielfach um 560 bis 650 mm, von Kiel bis zur Eckernförder Bucht 870 bis um 900 mm und nördlich davon bis um 1100 mm. Damit überschritten die Niederschläge die Mittelwerte des Referenzzeitraums überwiegend um bis zu 20 %, im nördlichen Schleswig-Holstein um rund 30 %. Zu trocken war es lediglich am Kleinen Haff, wo mit 470 mm (Ueckermünde) nur 93 % vom Mittel fielen. Im Vergleich zum vieljährigen Mittel gab es 2015 mehr Tage, an denen Niederschlag fiel. Niederschläge von 1 mm und mehr wurden an rund 110 bis 150 Tagen verzeichnet. Das war verbreitet ein Plus von 10 bis 20 Tagen. Starkniederschläge von 10 mm am Tag und darüber wurden an der Nordsee meist an 20-25 Tagen, an der Ostsee an 7 bis 15 Tagen verzeichnet. Das waren bis zu 6 Tage mehr als gewöhnlich.

Sehr niederschlagsarm war der April, der mit meist nur 15 bis 30 mm Niederschlag und damit nur 40 bis 60 % der Monatsmittel brachte. Auch der Juni fiel mit vielfach nur 20 bis 50 mm zu trocken aus. Ebenfalls deutlich zu trocken waren der Februar an der Ostsee und der Oktober an der Nordsee (siehe Abb. 2). Im Januar und November gab es dagegen im gesamten Küstengebiet weit überdurchschnittliche Niederschläge bis um das Doppelte der Monatsmittel. Im Juli war nur der Nordseeraum von weit überdurchschnittlichen Niederschlägen betroffen, die mit teilweise 150 bis 190 mm fast doppelt so hoch waren wie die Mittelwerte. Zu diesen Werten trug u.a. das Sturmtief ZELJKO bei, das

an den beiden Tagen 24. und 25. Juli insgesamt 40 bis 50 mm brachte.

Schnee, der liegen blieb, fiel nur zu Beginn des Jahres, insbesondere von Mitte Januar bis zum Ende des ersten Februardrittels. Meist führte er nur zu einer geringen Schneedecke bis zu 5 cm Höhe, östlich von Rügen jedoch auch bis zu 15 cm. Die Schneedecken tauten immer wieder rasch ab und hielten nicht länger als eine Woche.

Die Sonne schien an der Nordsee wie auch im Norden der westlichen Ostsee und östlich von Rügen meist zwischen 1600 und 1800 Stunden. In den übrigen Gebieten der deutschen Ostseeküste und auf den Inseln wurden 1800 bis 1920 (Rostock-Warnemünde) Sonnenstunden beobachtet. Am sonnigsten war es mit 2042 Sonnenstunden am Kap Arkona. Insgesamt lag die Sonnenscheindauer damit im Bereich der vieljährigen Mittelwerte oder um bis zu 14 % darüber. Im Jahresverlauf war – gemessen an den vieljährigen Mittelwerten – der April ungewöhnlich sonnenscheinreich (Abb. 3). Mit 210 bis 250 Stunden lag die Zahl der Sonnenstunden um 30 bis 40 % über dem Soll. An der Ostsee war auch der August ein sehr sonniger Monat. Mit 240 bis 285 (am Kap Arkona 296) Sonnenstunden war er hier der sonnenscheinreichste Monat und überschritt die Mittelwerte verbreitet um rund 20 %. Ganz anders war dagegen der Mai, dessen Sonnenscheindauer mit meist nur 155 bis 220 Stunden um 10 bis 25 % unter dem Durchschnitt blieb. Nur am Kap Arkona war er mit 264 Sonnenstunden so sonnig wie üblich.

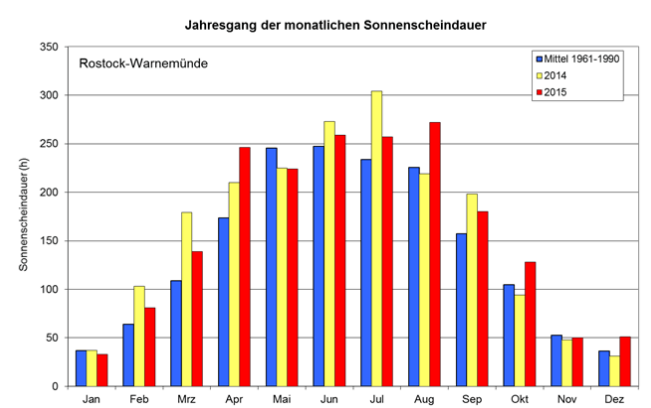
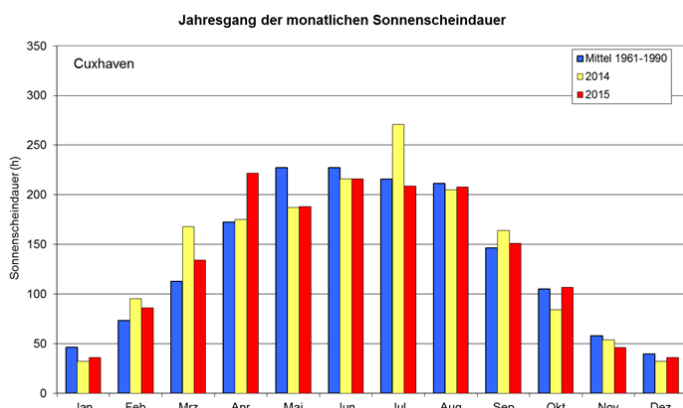


Abb. 3: Jahresgang der Sonnenscheindauer in Cuxhaven und Rostock-Warnemünde

Nord- und Ostsee waren nicht so warm wie im Vorjahr. Wie die Zeitreihe der Oberflächentemperatur der Nordsee des BSH (Abb. 4) zeigt, betrug das Jahresmittel 10,6 °C und lag damit um 0,8 K unter der des Vorjahres. Der Jahresgang war weniger ausgeprägt wie gewöhnlich. Während die Wintermonate überdurchschnittliche Wasseroberflächentemperaturen aufwiesen, fielen Juni und Juli geringfügig zu kühl aus. Der Dezember verzeichnete mit 9,5°C die bisher höchste Nordseetemperatur seit Beginn der Zeitreihe 1971. Sie lag um 1,7 K über dem Mittelwert. Schon im Oktober war die Nordsee um 1,4 K, im November um 1,6 K zu warm gewesen.

Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr. Neben Sachschäden gab es mehrere Tote zu beklagen. Auch auf seiner Rückseite erreichten die Böen am 1. April immer noch Bft 8 bis 11. Weitere Informationen sind im Bericht des DWD zu NIKLAS zu finden. Ungewöhnlich windreich war der Mai, in dem Windböen immer wieder Sturmstärke erreichten. Hervorzuheben ist die Wetterlage vom 5. Mai, bei der sich Gewitter entwickelten und in Mecklenburg-Vorpommern auch zwei Tornados mit Windspitzen bis Orkanstärke. Einer traf die Kleinstadt Bützow schwer ([siehe Bericht](#)). In Hamburg forderte eine Gewitterböe ein Menschenleben in Elbnähe. Anfang Juni brachte der Durchzug von

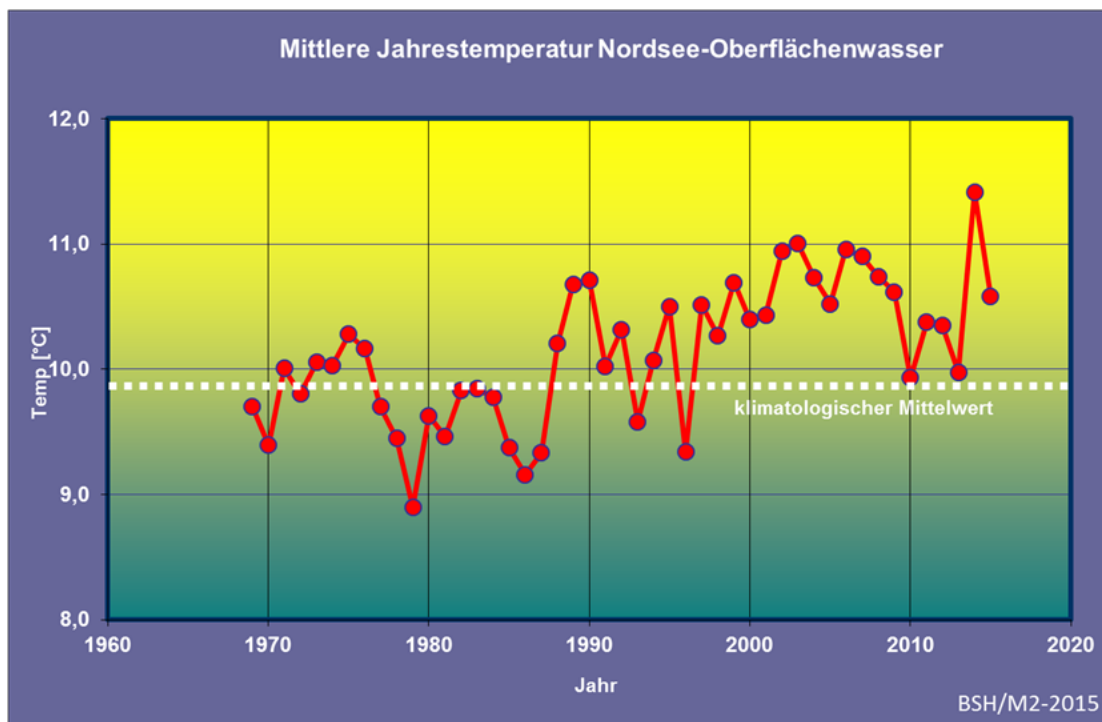


Abb. 4: Mittlere jährliche Wasseroberflächentemperatur der Nordsee, 1969-2015 (Quelle: BSH)

Aufgrund der überwiegend milden Winterwitterung mit nur wenig Dauerfrost blieben die Gewässer fast durchweg eisfrei. Nur am 5. und 6. Februar bildete sich in einigen Häfen und geschützt liegenden Bereichen der Küstengewässer der Ostsee Neueis. Dieses schmolz aber bei steigenden Temperaturen in den folgenden Tagen wieder ab.

Das Jahr begann stürmisch. Schon am 2. Januar gab es Böen, die Windstärke 11 Bft entsprachen. Vom 9. bis 11. Januar sorgten dann die Tiefs ELON und FELIX für Böen bis Orkanstärke. Nach Angaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) ([siehe Bericht](#)) trat dabei an der Nordseeküste eine bisher nicht beobachtete Serie von fünf aufeinander folgenden Sturmfluten auf. Eine Sturmserie Ende März 2015 erreichte am 31. mit Orkantief NIKLAS ihren Höhepunkt. An der Nordsee wurden Spitzenböen von 140 km/h gemessen, was für die Zeit nach Frühlingsanfang sehr ungewöhnlich ist. NIKLAS führte zu starken Behinderungen und Ausfällen im

Tiefausläufern noch stürmischen Wind mit Böen bis Bft 10, bevor sich der Wind deutlich abschwächte. Der Juli hatte dann wieder einige stürmische Tage besonders gegen Monatsende, wobei das für diesen Sommermonat ungewöhnlich kräftige Sturmtief ZELJKO am 25. und 26. Böen bis Bft 10 hervorrief. Danach erreichten Böen selten Sturmstärke. Erst vom 7. November an wurde es wieder richtig stürmisch. Mehrere Sturmtiefs lösten im Monatsverlauf Böen bis Orkanstärke aus. Am 22. sorgte zudem ein Tief über der westlichen Ostsee für erhöhte Wasserstände und gebietsweise für eine Sturmflut ([siehe Bericht](#) des BSH). Das windreiche Wetter setzte sich im Dezember fort, wobei die höchsten Windspitzen Bft 11 entsprachen.

Die Milde der Wintermonate wurde zu Jahresbeginn durch ein Vorherrschen von Winden aus westlichen bis südlichen Richtungen hervorgerufen, zum Jahresende durch Winde aus südlichen Richtungen (SW bis SE). Wie die monatliche Verteilung der Windrichtungen in Abb. 5 zeigt,

wehten südliche Winde an der Nordsee zu rund 75 %, an der Ostsee zu knapp 85 % der Zeit und kamen damit um rund 30 % häufiger vor als im Mittel. Im Oktober herrschten Winde aus östlicher Richtung (NE bis SE) vor. Diese waren insbesondere auf den Einfluss von Hochdruckgebieten über Skandinavien und Osteuropa zurückzuführen. Winde aus diesen Richtungen kamen zu 60 bis 70 % der Zeit vor, während sie gewöhnlich nur einen Anteil von 20 bis 30 % haben.

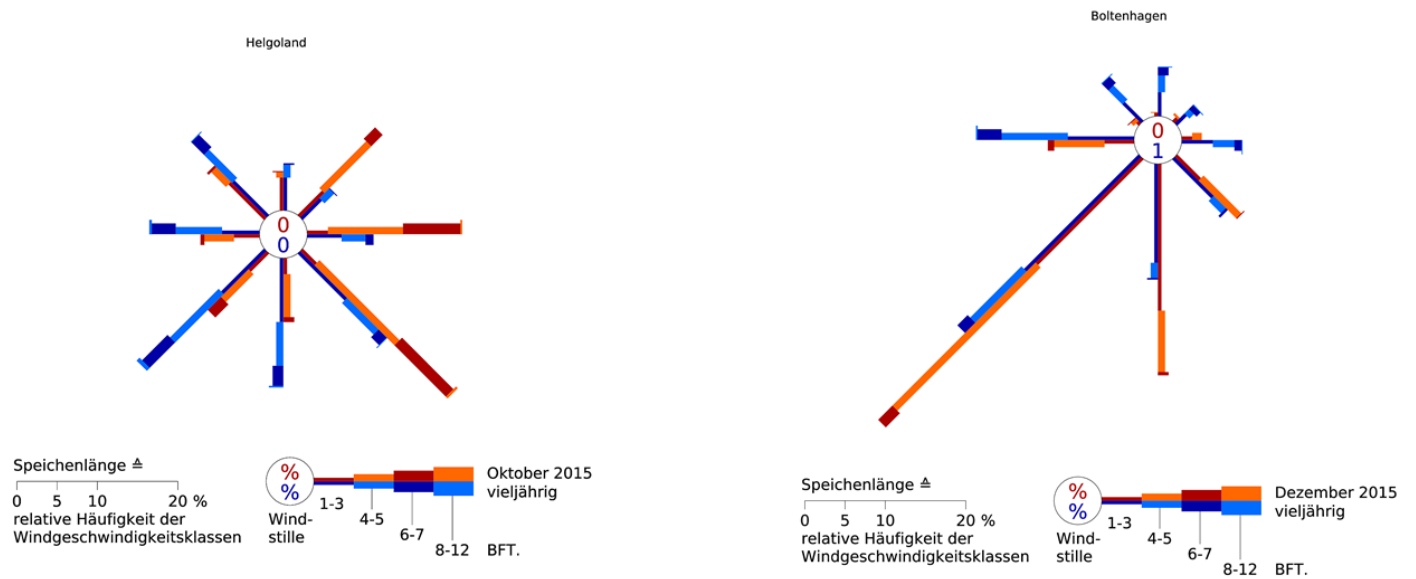


Abb. 5: Windverteilungen an den Stationen Helgoland im Oktober und Boltenhagen im Dezember 2015 (orange) wie auch im Monatsmittel (CL/CR: Prozentualer Anteil der Windstillen vieljährig und 2015)

Objektive Wetterlagenklassen 2015

K. Zimmermann

Beschreibung der objektiven Wetterlagenklassifikation

Die objektive Wetterlagenklassifikation des DWD beruht auf numerischen Kriterien, die auf jede meteorologische Situation über Mitteleuropa angewendet werden können. Die Klassifizierung wird einmal täglich um 12 UTC durchgeführt und das Ergebnis als die Wetterlage betrachtet, die für den ganzen Tag gültig ist. Das räumliche Klassifizierungsgebiet überdeckt Deutschland und benachbarte Regionen. Die Datengrundlage liefert das operationelle Wetteranalyse- und Vorhersagesystem des DWD. Bis 21.11.1999 wurde das Europa-Modell (EM) des DWD zugrunde gelegt. Danach kam das operationelle erweiterte Globalmodell (GME) zum Einsatz, das über eine vergleichbare räumliche Auflösung wie das EM verfügte; die Modellgitterpunkte sind lediglich anders strukturiert. Seit dem 20.01.2015 wird die operationelle ICON-Vorhersage verwendet. Ein merklicher Datensprung aufgrund des Modellwechsels wurde bisher nicht festgestellt.

Kriterien für die Einteilung der Wetterlagenklassen sind die Zirkulationsformen der Atmosphäre (Zyklonalität) in 950 und 500 hPa, die großräumige Anströmrichtung in 700 hPa und der Feuchtegehalt der Troposphäre. Dadurch ergeben sich 40 verschiedene Wetterlagenklassen. Die Methode ist jederzeit mit dem gleichen Ergebnis nachvollziehbar. Es gibt keine unbestimmten Fälle. Aus diesen Gründen wird der Anspruch auf die Bezeichnung „**Objektive** Wetterlagenklassifikation“ abgeleitet. Das Verfahren wird seit dem 01.07.1979 angewendet, so dass inzwischen eine über 30-jährige Zeitreihe täglicher Wetterlagenklassen vorliegt.

Die Klasseneinteilung erfolgt nach folgendem Schema:

Jede Wetterlagenklasse wird mit einer fünfstelligen Buchstabenkennung abgekürzt, und zwar in folgender Anordnung:

aa z₉₅₀ z₅₀₀ f mit:

aa =: **Anströmrichtung:** **XX** = keine vorherrschende Richtung,
NO = Nordost, **SO** = Südost,
SW = Südwest, **NW** = Nordwest;

z₉₅₀ z₅₀₀ =: **Zyklonalität in**
950 bzw. 500 hPa: **Z** = zyklonal, **A** = antizyklonal;

f =: **Feuchte** **F** = feucht, **T** = trocken.

Beispiel:

NOAZT = Nordost, antizyklonal in 950 hPa, zyklonal in 500 hPa, trocken.

Häufigkeit der Wetterlagenklassen 2015

Folgende Wetterlagen sind im Jahr 2015 aufgetreten (in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit):

Rang	Wetterlage	Anzahl	in %	Rang	Wetterlage	Anzahl	in %
1	SWZAF	33	9,04	18	NWAZF	5	1,37
2	NWAAT	32	8,77	19	SOZAT	5	1,37
3	NWAAF	32	8,77	20	NWZZT	5	1,37
4	NWAZT	32	8,77	21	NWZZF	5	1,37
5	SWAAF	31	8,49	22	SWZAT	4	1,10
6	SWAAT	29	7,95	23	XXZZF	4	1,10
7	XXAAT	25	6,85	24	XXZAF	3	0,82
8	SWAZT	20	5,48	25	SOAAT	2	0,55
9	XXAZT	12	3,29	26	SOZZT	2	0,55
10	NOAZT	12	3,29	27	SOZZF	2	0,55
11	XXZZT	12	3,29	28	NOAAF	1	0,27
12	NOAAT	11	3,01	29	XXAZF	1	0,27
13	XXAAF	9	2,47	30	NWZAT	1	0,27
14	XXZAT	9	2,47	31	SOZAF	1	0,27
15	SWAZF	8	2,19	32	NWZAF	1	0,27
16	SWZZT	8	2,19	33	NOZZF	1	0,27
17	SWZZF	7	1,92				

Die Wetterlagenklassen SOAAF, SOAZT, NOAZF, SOAZF, NOZAT, NOZAF, NOZZT sind im Jahr 2015 nicht vorgekommen.

Besonders häufig traten in diesem Jahr wieder Südwestlagen mit einer antizyklonalen Höhenströmung auf, fast genauso oft wurden Nordwestlagen mit einer bodennahen antizyklonalen Strömung registriert. Auch 2015 wurde die Wetterlage SWZAF deutlich häufiger beobachtet als im Referenzzeitraum 1981-2010. Recht häufig vertreten waren auch Südwestlagen und Lagen mit keiner vorherrschenden Anströmrichtung mit einer antizyklonalen Bodenströmung, gefolgt von den in der Höhe zyklonalen Wetterlagen XXAZT, NOAZT, XXZZT. Während die Nordwestlagen NWAAT und NWAAF 2015 etwas häufiger als

in der Referenzperiode 1981-2010 vertreten waren, erreichten NWAZT und SWAAF nicht ganz die Prozentzahlen der Referenzperiode. Deutlich häufiger als in der Referenzperiode wurde die Wetterlage SWAAT beobachtet. Die 12 häufigsten Wetterlagen stellten zusammen 77 % aller Lagen dar.

Relative Häufigkeitsverteilung der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2015 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1981-2010

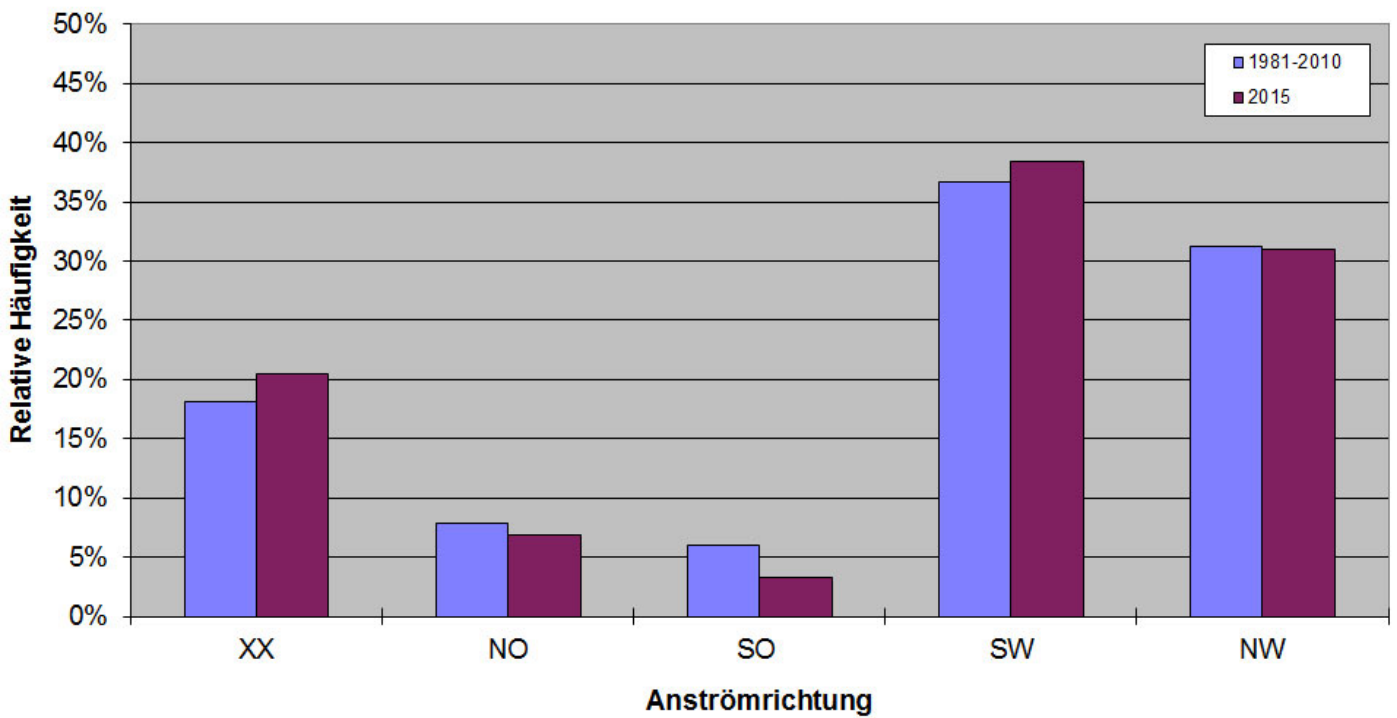


Abb. 2: Relative Häufigkeitsverteilung der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2015 im Vergleich zum 30-jährigen Zeitraum 1981-2010

Relative Häufigkeitsverteilung der Zyklonalität und Feuchte der objektiven Wetterlagenklassifikation 2015 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1981-2010

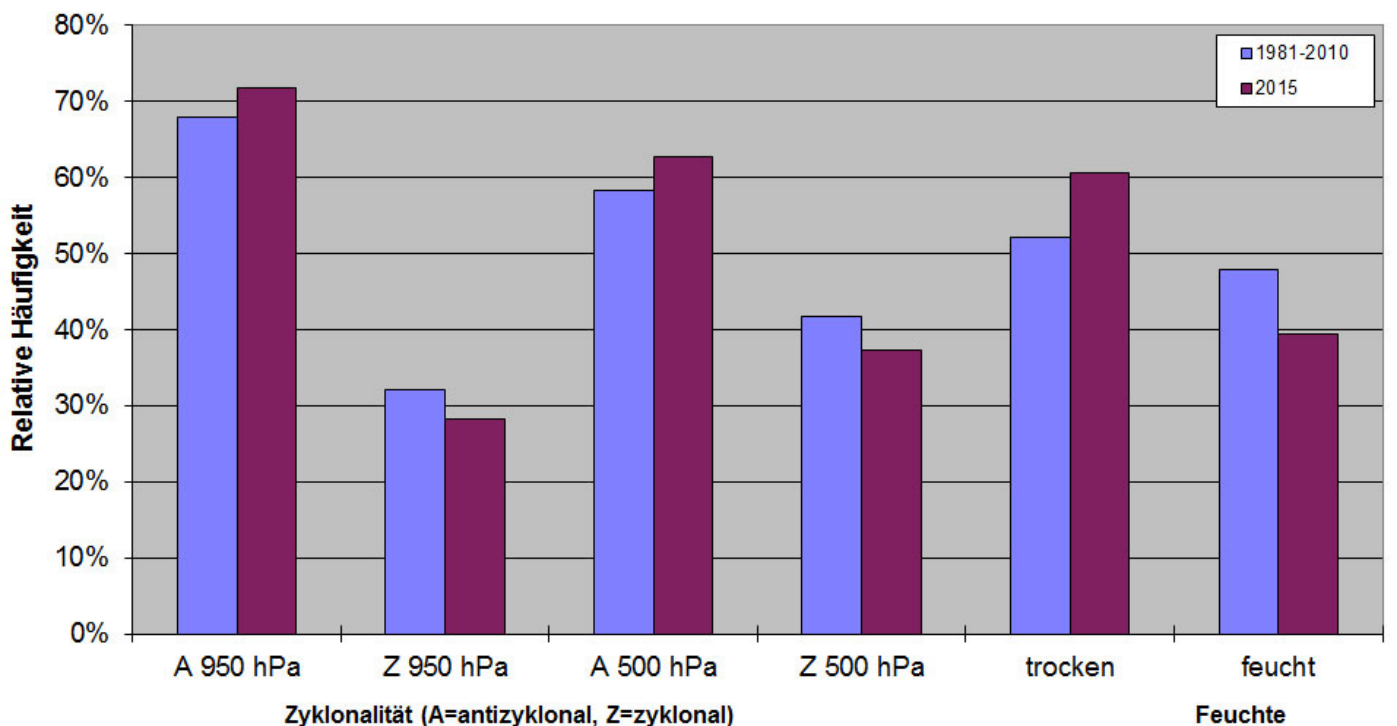


Abb. 3: Relative Häufigkeitsverteilung der Zyklonalitäts- und Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2015 im Vergleich zum 30-jährigen Zeitraum 1981-2010

Jahresverlauf der Wetterlagen und Zusammenhang mit Temperatur/Niederschlag

WLK/Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
XX	5	9	10	3	5	5	3	10	3	16	3	3	75
NO	0	5	4	6	0	0	0	1	6	3	0	0	25
SO	0	2	3	0	0	0	0	2	1	3	0	1	12
SW	11	9	4	11	16	11	20	18	14	6	6	14	140
NW	15	3	10	10	10	14	8	0	6	3	21	13	113
A 950 hPa	24	19	20	24	26	25	20	14	20	17	23	30	262
Z 950 hPa	7	9	11	6	5	5	11	17	10	14	7	1	103
A 500 hPa	16	17	19	20	21	20	23	21	10	15	20	27	229
Z 500 hPa	15	11	12	10	10	10	8	10	20	16	10	4	136
trocken	19	26	23	24	22	16	11	11	22	20	14	13	221
feucht	12	2	8	6	9	14	20	20	8	11	16	18	144
Temperatur	2,7	0,3	1,7	1	0,2	0,4	2,5	3,4	-0,3	-0,6	3,5	5,7	1,7
Niederschlag	140	45	98	71	73	68	93	97	92	84	152	52	89

Tab. 1: Monatliche Häufigkeiten (in Tagen) für die Anströmrichtungen (XX, NO, SO, SW, NW), die Zyklonalität (A=antizyklonal, Z=zyklonal) in 950 und 500 hPa und die Feuchteklassen (feucht und trocken) im Jahr 2015. Zum Vergleich die Deutschlandflächenmittel-Anomalien der Monatsmitteltemperatur (positive Zahlen: warm, negative: kalt) und die monatliche Niederschlagssumme (in %) als Prozentsatz des Klimamittels 1961-1990.

- Anströmrichtung

Südwestlagen waren in den Monaten Februar, April, Mai sowie von Juli bis September und im Dezember die vorherrschenden Wetterlagen. Besonders häufig traten sie in den Hochsommermonaten Juli und August auf. Relativ selten wurden sie im März, Oktober und November beobachtet. Nordwestlagen dominierten im Januar, März, Juni und November das Wettergeschehen. Die Häufigkeit der Lagen mit Ostkomponente war sehr gering. Im Januar, im Zeitraum Mai bis Juli sowie im November gab es keinen Tag mit Ostlage. Lagen mit uneinheitlicher Anströmrichtung waren im Jahr 2015 mit mehr als 10 Tagen nur im Oktober vertreten.

- Zyklonalität

In 950 hPa waren antizyklonale Lagen in fast allen Monaten häufiger vertreten als zyklonale Lagen. Diese dominierten im August, der im Nordwesten und der Mitte Deutschlands recht regnerisch ausfiel. In 500 hPa waren die antizyklonalen Lagen nur im kühlen September und Oktober nicht vorherrschend, wobei im Oktober das Verhältnis von antizyklonalen zu zyklonalen Lagen fast ausgeglichen war. Ein ähnlich ausgeglichenes Verhältnis zeigte sich im niederschlagsreichen und sehr milden Januar.

- Feuchte

Im Jahr 2015 wurden, im Gegensatz zum Vorjahr, mehr trockene als feuchte Wetterlagen beobachtet. Feuchte Wetterlagen dominierten allerdings in den Monaten Juli, August, November und Dezember.

- Temperatur

Die Jahresmitteltemperatur für 2015 lag 1,7 K über dem Mittel der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-1990. Leicht unterdurchschnittliche Mitteltemperaturen wurden nur im September und Oktober registriert.

- Niederschlag

Im Jahr 2015 waren nur 2 Monate niederschlagsreicher als im Zeitraum 1961-1990, so dass 2015 nur 89 % der Niederschlagsmenge der internationalen klimatologischen Referenzperiode erreicht wurden.

Ein klarer Zusammenhang zwischen diesen Witterungsanomalien und den vorherrschenden Wetterlagen lässt sich nur in Einzelfällen feststellen, da Zyklonalität, Anströmrichtung und Feuchte oft gegensätzliche Tendenzen hervorbringen.

Langzeittrends 1980-2015

Bei der Anströmrichtung (Abb. 4) sind die Trends hinsichtlich der Zunahme von Südwestlagen und Lagen ohne vorherrschende Anströmrichtung weiterhin vorhanden, wurden aber nicht gestärkt.

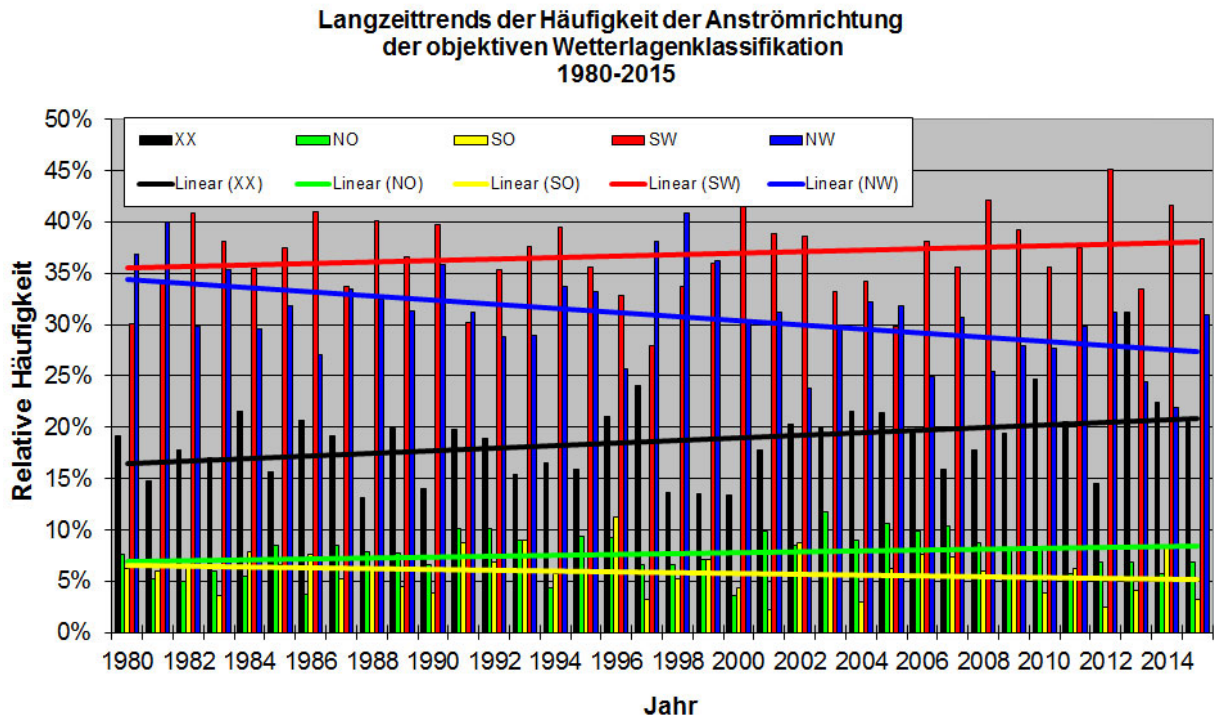


Abb. 4: Langzeittrends der Häufigkeit der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2015

Bei den Feuchteklassen (Abb. 5) sind keine Trends erkennbar.

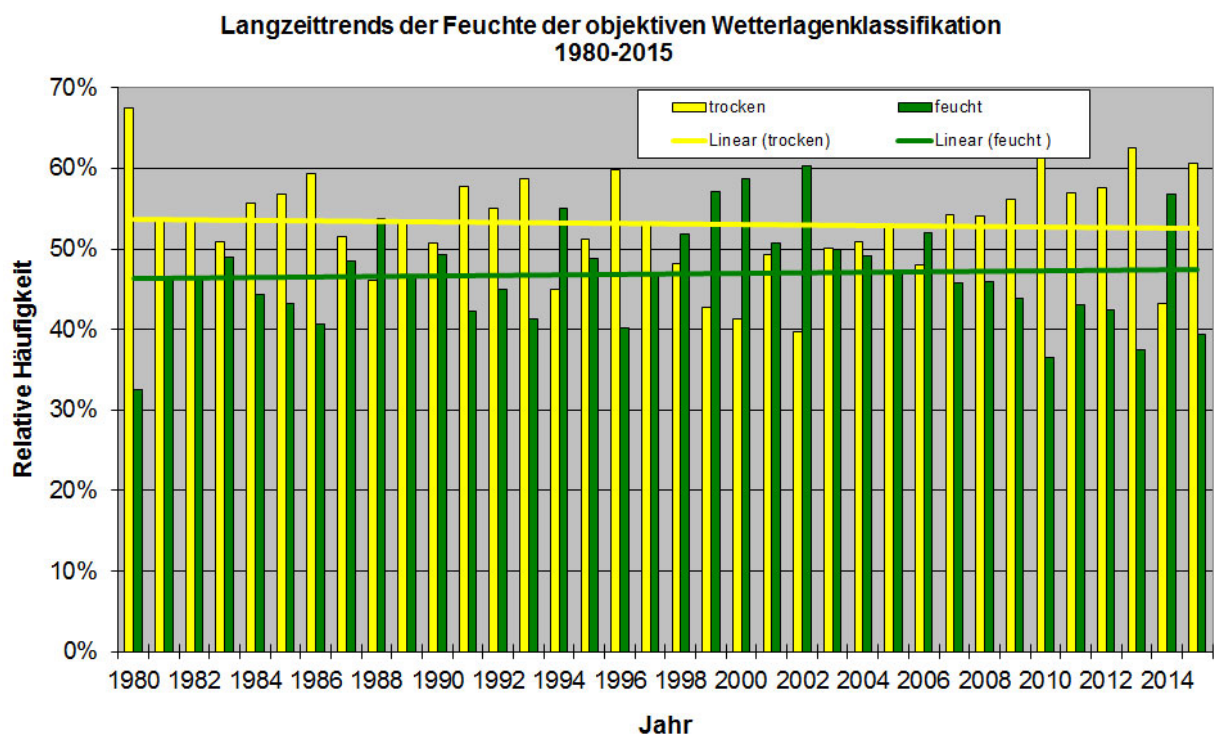


Abb. 5: Langzeittrends der Häufigkeit der Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2015

Bei der Zyklonalität (Abb. 6 und 7) ist nur in 500 hPa ein schwacher Trend zu einer Zunahme antizyklonaler Lagen feststellbar, während sich in 950 hPa keine langfristigen Tendenzen zeigen.

Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 500 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2015

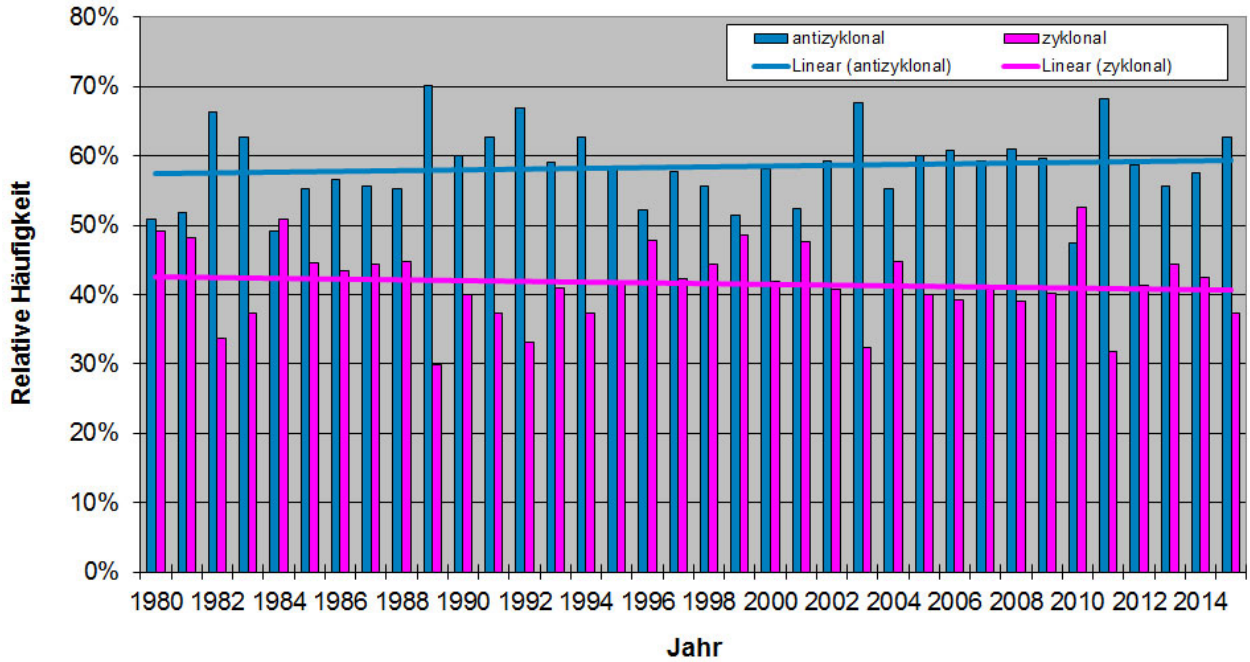


Abb. 6: Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 500 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2015

Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 950 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2015

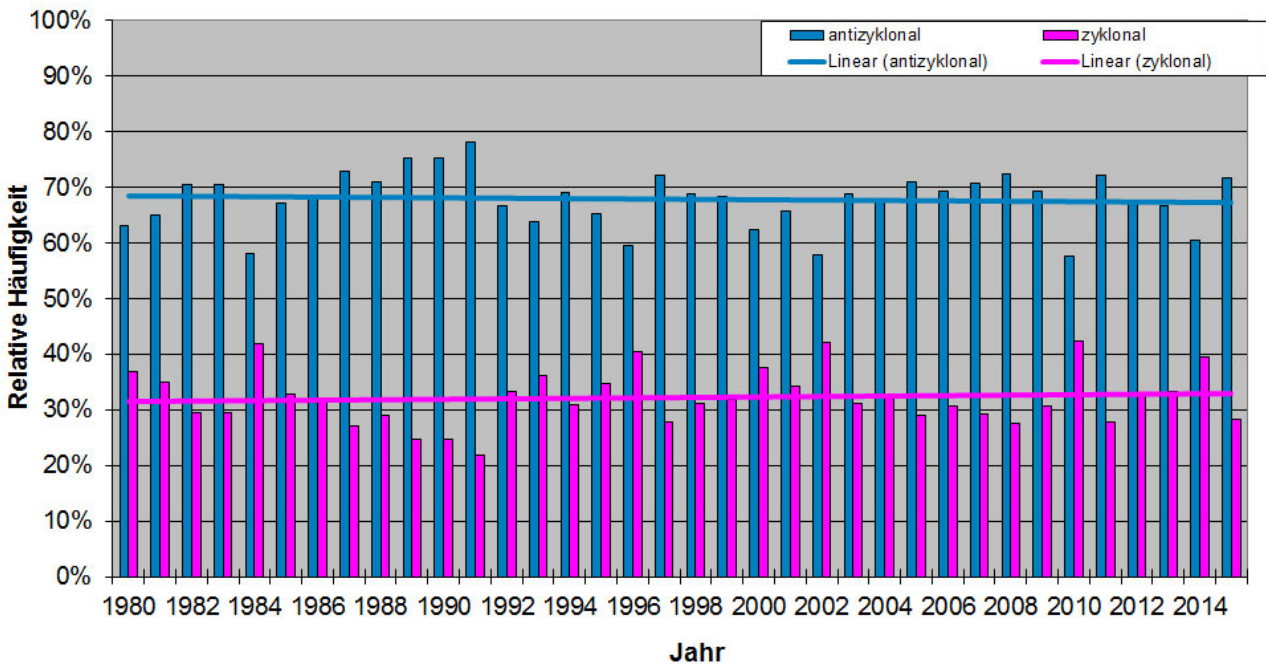


Abb. 7: Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 950 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2015

Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2015

S. Pietzsch, F.-J. Löpmeier, J. Fildebrandt, M. Wegener

Übersicht über den Verlauf des Jahres

Bei insgesamt milder, trüber und meist feuchter Witterung kamen im Januar regional die ersten Frühjahrsblüher zum Vorschein. Teilweise wurden auch bei den Winterkulturen erste Wachstumsregungen beobachtet, die durch die kälteren Temperaturen zum Monatsende aber wieder unterbunden wurden. Im Februar bedingten fehlende Niederschläge, dass die Böden in Ostdeutschland nicht ganz wassergesättigt in den Frühling starteten. Nur dort wo es möglich war, begannen erste landwirtschaftliche Arbeiten wie Gülleausbringung und Düngegaben. Wie schon im Vorjahr war der Frühling insgesamt warm, sonnenscheinreich und vor allem trocken. Auf einen frühlingshaften März, der die landwirtschaftlichen Arbeiten in Schwung brachte, folgte ein trockener April, der erste Beregnungen erforderte. Im Mai spitzte sich die Trockenheit in der Mitte Deutschlands zu, wohingegen es im Norden und im Süden teils überdurchschnittlich viel regnete. Da bis in den Mai noch einige Nächte mit Bodenfrost auftraten, hinkte die phänologische Entwicklung der Kulturen ein wenig hinterher. Der insgesamt heiße, trockene und sonnige Sommer wies große regionale Differenzen auf. Die Trockenheit, die vielfach durch die Presse ging, war vor allem in Südhessen, Nordbayern, Sachsen

und Südbrandenburg ein Thema. Im Norden hingegen war es eher feuchter als normal. Insgesamt warm bei nahezu durchschnittlicher Niederschlagsmenge und Sonnenscheindauer zeigte sich der Herbst. Der September und der Oktober waren kühl, sonnenscheinarm und trocken. Somit konnten die Böden gut befahren werden und die Aussaat der Winterkulturen verlief meist reibungslos; die fehlenden Niederschläge führten allerdings zu einer Anspannung der Bodenfeuchtesituation. Der November hingegen, der eine nasse, sonnige und vor allem warme Witterung mit sich brachte, sorgte dafür, dass die Böden ihre Wasservorräte wieder etwas auffüllen konnten. Vegetationsruhe war bis zum Ende des Jahres nicht in Sicht.

Dem außergewöhnlich warmen Jahr 2014 folgte mit dem Januar 2015 erneut ein zu warmer Monat. Häufige Westwetterlagen sorgten für ein facettenreiches Wetter. Von frühlingshafter Wärme mit Rekordtemperaturen bis zu 20°C (Abb. 1) über große Regengebiete und schwere Stürme bis hin zu einem recht winterlichen Monatsanfang und auch -ende – vor allem in Süddeutschland – war alles dabei.

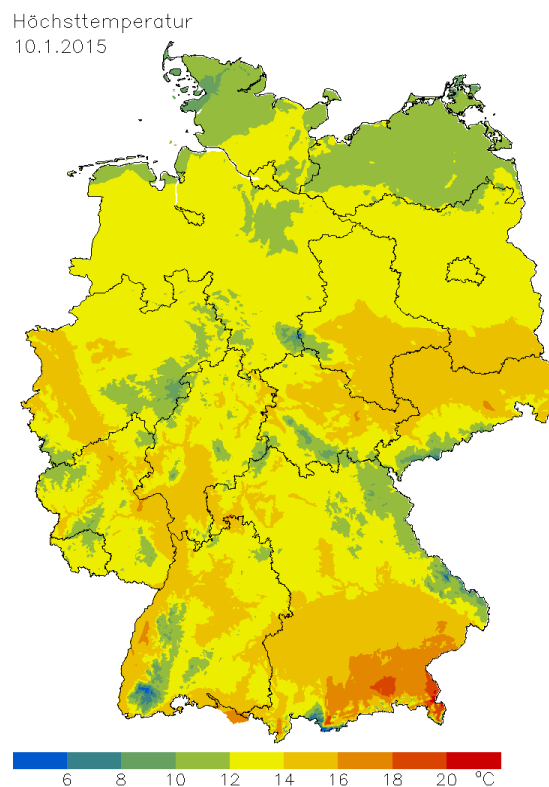


Abb. 1: Maximum der Lufttemperatur (°C) am 10.01.2015

Teils in der ersten, vor allem aber in der zweiten Januardekade kam es zu ersten Regungen in der Natur – die Hasel, vereinzelt Erlen und die ersten Schneeglöckchen begannen zu blühen. Letztere begannen im Osten Deutschlands bis zu 4 Wochen früher zu blühen als im langjährigen Mittel (Abb. 2).

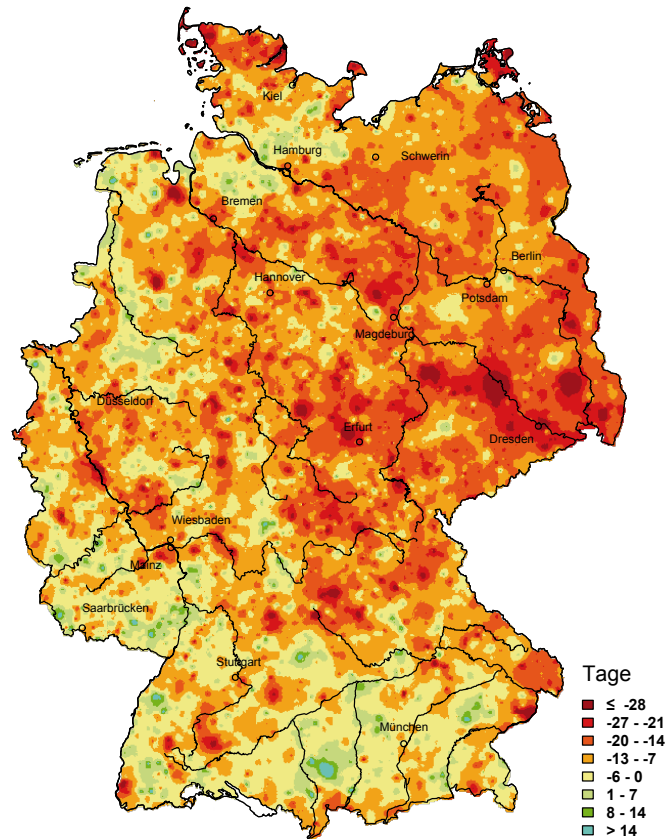


Abb. 2: Abweichung (Tage) des Beginns der Schneeglöckchenblüte 2015 vom langjährigen Mittel

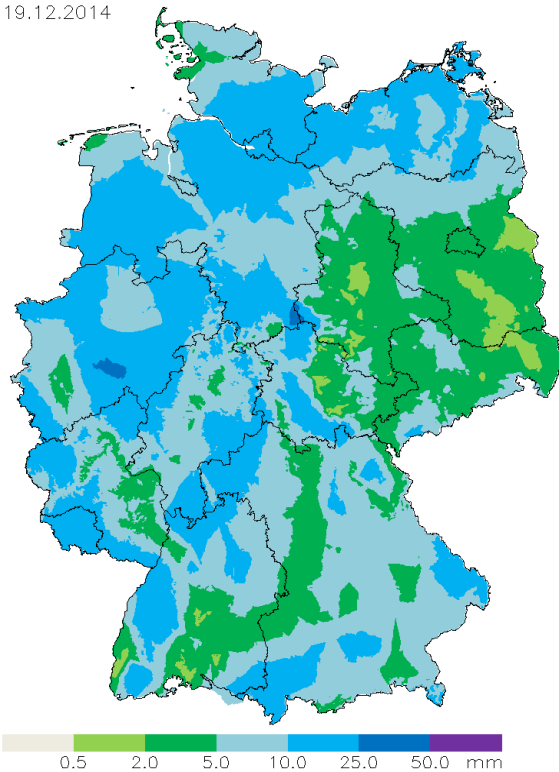
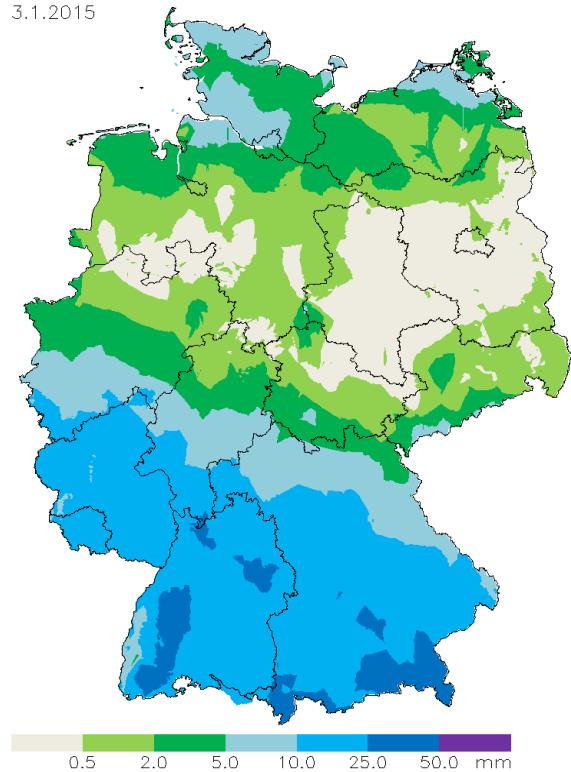
Tagesniederschlag
19.12.2014Tagesniederschlag
3.1.2015

Abb. 3: Tagesniederschlag (mm) am 19.12.2014 (links) und 03.01.2015 (rechts)

Auch in den Winterkulturen gab es zum Teil Wachstumsregungen. Trotz allem blieb die Winterruhe vorerst erhalten. Durch regelmäßige Niederschläge (Abb. 3, rechts) blieben die Böden in der Westhälfte weiterhin staunass, und die Sickerung dauerte an. In der Osthälfte konnten sich die Bodenwasservorräte weiter auffüllen und in den Mittelgebirgen sowie deren Vorländern begann die Sickerwasserbildung aus den oberen 60 cm des Bodens. Den Schädlingen dürfte die größtenteils feucht-milde Witterung eher zu schaffen gemacht haben als trockene Kälte. In der dritten Januardekade wurde es dann bei wechselhaftem Wetter merklich kälter, im Tiefland gab es teils eine dünne Schneedecke, richtig winterlich wurde es im Bergland. Frostige Nachttemperaturen sorgten für ein endgültiges Abfrieren der letzten Zwischenfrüchte und die Zuckerrübenkampagne wurde beendet.

Anfang **Februar** gelangte Deutschland unter grauen Hochdruckschleier, der das Wetter fast durchgehend bis zum Ende des zweiten Monatsdrittels bestimmte. Das Temperaturniveau war insgesamt niedriger als in den beiden Vormonaten. Im Norden und Westen sowie in den Niederungen zeigte sich der Winter nur gelegentlich, während sich die höheren Lagen und besonders Süddeutschland kalt mit viel Schnee präsentierten. Es gab verbreitet leichten bis mäßigen Frost, bodennah mäßigen bis strengen Frost mit Tiefstwerten unter minus 10°C. Dadurch gefroren offene Böden verbreitet bis in tiefere Bodenschichten, was der Lockerung der

Bodenkrume zugutekam. Oberflächlich taute der Boden in sonnigen Lagen tagsüber stellenweise wieder auf, was zu Wechselfrösten und zu verstärkten Bodenbewegungen führte. Schneebedeckte Böden blieben frostfrei. Im letzten Monatsdrittel gestalteten atlantische Tiefausläufer das Wetter leicht wechselhaft und nicht mehr so kalt. Insgesamt präsentierte sich der Februar bei deutlich zu wenig Niederschlag und fast überall leicht überdurchschnittlicher Sonnenscheinbilanz nahezu temperaturnormal. Etwas zu mild war es im Nordosten, leicht zu kalt hingegen im Südwesten. Besonders in der Osthälfte kam zu wenig Regen an, was nicht ganz volle Bodenwasservorräte brachte, viel fehlte jedoch nicht (Abb. 4). Landwirtschaftliche Arbeiten hielten sich noch in Grenzen. Ganz vereinzelt erfolgte die Ausbringung von Gülle und zum Teil die erste Düngegabe, allerdings waren die Böden gebietsweise überschwemmt, wassergesättigt, durchgehend gefroren oder durchgängig höher als 5 cm mit Schnee bedeckt, so dass eine Düngeausbringung nach der Düngeverordnung nicht gestattet war. Die Vegetation ruhte im letzten Wintermonat somit weitgehend. Auch die Winterungen zeigten keine Regungen. Zum Monatsende war die Vegetation meist auf normalem Entwicklungsstand oder allenfalls leicht verfrüht. Es blühten weiterhin Schneeglöckchen, Hasel und vermehrt Erle.

Bodenfeuchte unter Gras und sandigem Lehm
28.2.2015

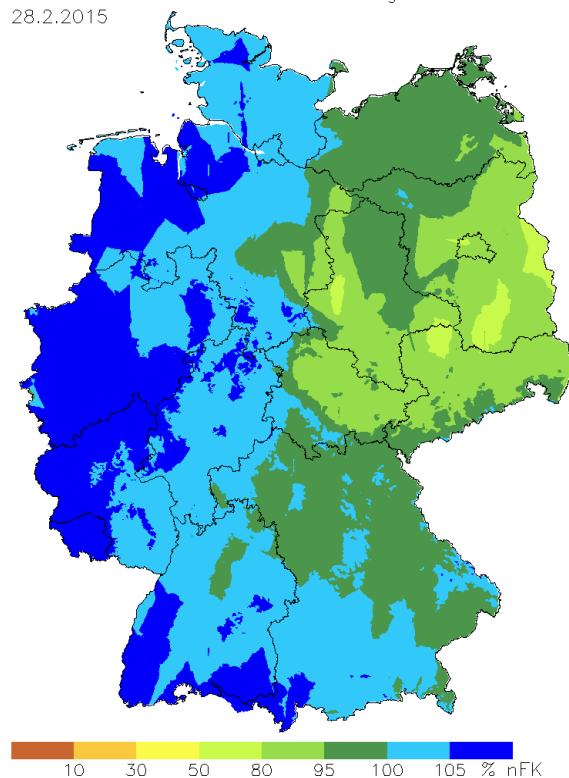


Abb. 4: Bodenfeuchte (%nFK) in 0-60 cm unter Gras bei sandigem Lehm am 28.02.2015

Passend zum Frühlingsbeginn zeigte sich der **März** überdurchschnittlich warm und sonnig. Die Niederschlagsbilanz war insgesamt nahezu ausgeglichen, wobei die meisten Niederschläge zum Monatsende fielen. Trotz der überwiegend milden Temperaturabschnitte gab es regional, besonders im Osten, noch viele Tage mit Bodenfrost. Dennoch konnten die landwirtschaftlichen Arbeiten meist problemlos starten. Die Sommerungen wurden ausgebracht und gebietsweise konnten schon Zuckerrüben gedreht und Kartoffeln gelegt werden. Vielfach begann das Ergrünen des Dauergrünlandes. Einhergehend mit den Wachstumsregungen in der Natur begannen gebiets- und zeitweise auch die Rapsschädlinge aktiv zu werden. Wo es nötig war, fanden dementsprechend Pflanzenschutzmaßnahmen statt. In weit entwickelten Beständen kamen außerdem die ersten Wachstumsregler zum Einsatz.

Der **April** fiel insgesamt warm, trocken und sonnig aus. Lediglich zu Beginn und zum Monatsende machte er wettertechnisch seinem Namen eine Ehre. Im Monatsverlauf trockneten die Böden fortwährend ab, so dass anstehende Feldarbeiten meist problemlos durchgeführt werden konnten. Zuckerrüben, Kartoffeln und Mais konnten bestellt werden und fingen an aufzulaufen. Das Wintergetreide ging derweil allmählich in die phänologische Phase des Schossens über. Trotz der ansteigenden Temperaturen traten allerdings noch einige Nächte mit Bodenfrost auf. Dies führte dazu, dass die Vegetation kei-

nen wesentlichen Entwicklungsvorsprung erfuhr, so wie es noch im Vorjahr der Fall gewesen war. Trotz allem begann der Apfel im Schnitt etwas früher zu blühen als im langjährigen Mittel. Im Südwesten Deutschlands lag die Verfrüfung teils bei um die 3 Wochen (Abb. 5).

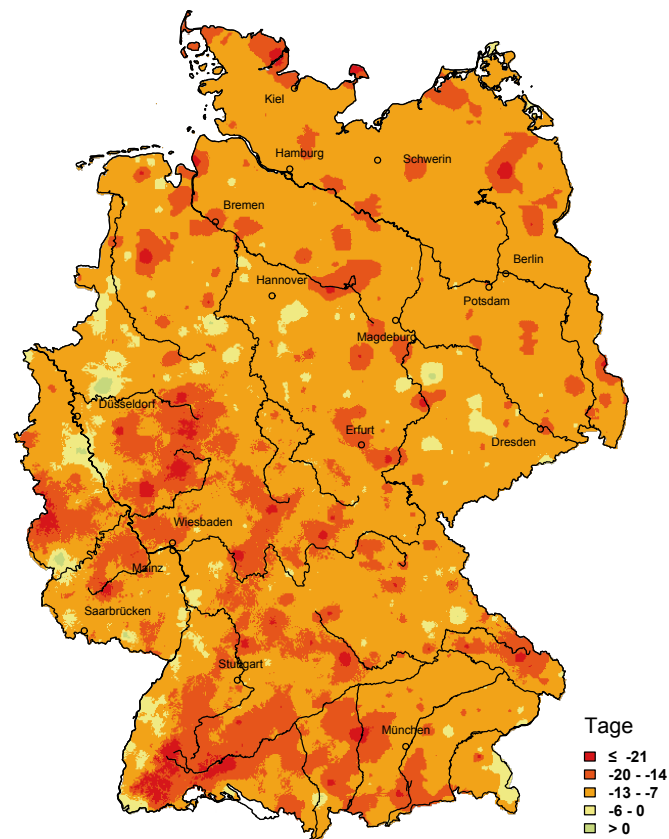


Abb. 5: Abweichung (Tage) des Beginns der Apfelblüte 2015 vom langjährigen Mittel

Die Trockenheit führte bereits zu vereinzelt kleinen Waldbränden und örtlich mussten die ersten Beregnungsanlagen in Betrieb genommen werden. In Brandenburg lagen die Werte der Bodenfeuchte Ende des Monats regional schon bei weniger als 60 %nFK (Prozent nutzbarer Feldkapazität), im restlichen Deutschland meist zwischen 60 und 80 %nFK (Abb. 6). Der Vorteil der trockenen Witterung war, dass sich die Gefahr pilzlicher Infektionskrankheiten in Grenzen hielt.

Bodenfeuchte bis 60 cm unter Gras, sandiger Lehm
24.4.2015

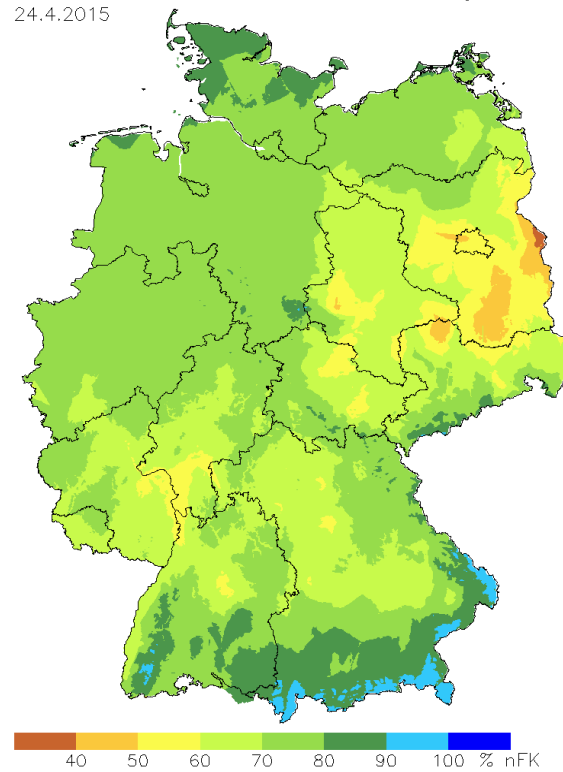


Abb. 6: Bodenfeuchte (in % nFK) in 0-60 cm unter Gras bei sandigen Lehm am 24.04.2015

In Summe war der **Mai** nahezu temperaturnormal, trüb und zu trocken. Die Niederschlagsverteilung wies allerdings eine große räumliche Differenzierung auf. Wo hingegen es im Norden und im Süden eher nass war, litt die Mitte Deutschlands unter starker Trockenheit. Hier lagen die Bodenfeuchten – vor allem im Osten Deutschlands – regional unter 50 %nFK (Abb. 8). Trockene Phasen wurden verbreitet für Silage- und Heuschnitte genutzt. Wo feuchte Bedingungen herrschten, die Pilzinfektionen begünstigten, waren Pflanzenschutzmaßnahmen ein großes Thema. In den trockenen Regionen liefen hingegen die Beregnungsanlagen und die Waldbrandgefahr stieg an. Vielerorts trat in den Nächten noch letzter Bodenfrost auf. Dies war mitunter ein Grund dafür, dass die phänologische Entwicklung der Kulturen nun leicht im Rückstand war. In Westdeutschland begann beispielsweise das Ährenschieben des Winterroggens regional über eine Woche später als im langjährigen Mittel (Abb.7).

Im Monatsverlauf sind Mais und Kartoffeln aufgelaufen und die Kartoffelbestände waren zum Monatsende einigerorts geschlossen. Die Wintergerste ging Anfang des Monats und der Winterweizen zum Ende des Monats in die Phase des Ährenschiebens über.

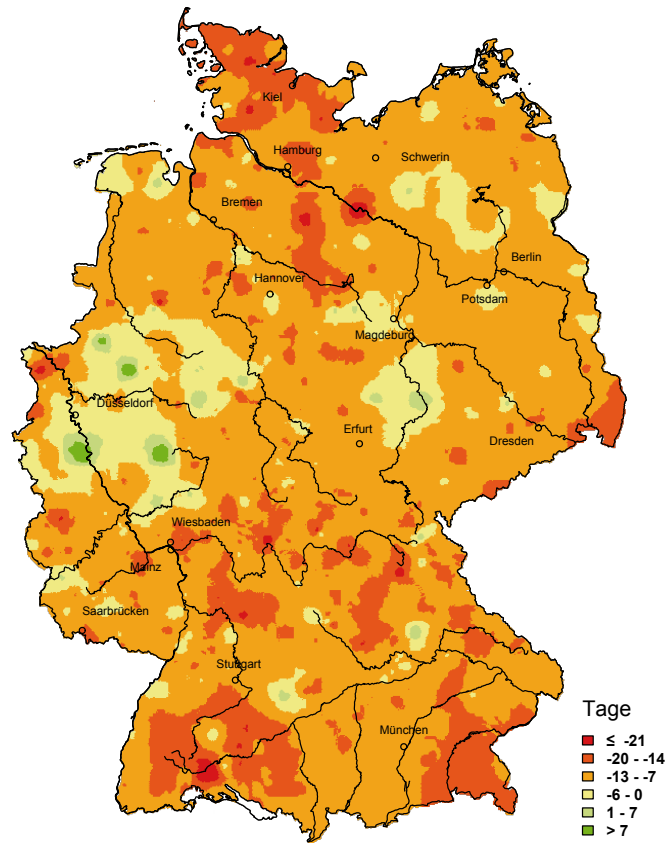


Abb. 7: Abweichung (Tage) des Beginns des Ährenschiebens beim Winterroggen 2015 vom langjährigen Mittel

Bodenfeuchte bis 60 cm unter Gras, sandiger Lehm
20.5.2015

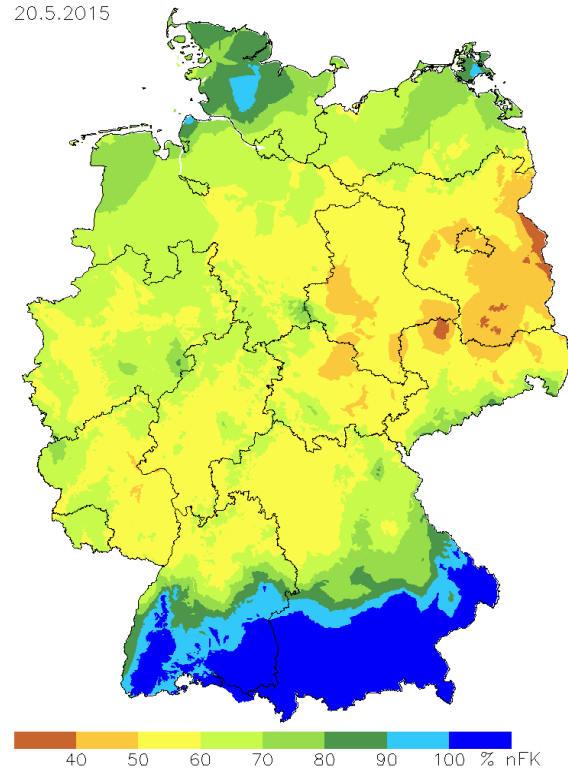


Abb. 8: Bodenfeuchte (%nFK) in 0-60 cm unter Gras bei sandigem Lehm am 20.05.2015

Der **Juni** brachte typisches Frühsommerwetter mit einem Wechsel von hochsommerlichen Abschnitten und wiederholten kühlen Phasen. Generell herrschten im Norden eher kühle Luftmassen vor. Hoher Luftdruck führte in den ersten beiden Juniwochen und am Monatsende zu einer Fortdauer der allgemeinen Trockenheit und begünstigte die Heuwerbung, während im warmen Süden immer wieder Gewitter mit Starkregen tobten. Über die Monatsmitte hinweg dominierte eine wechselhafte Witterungsphase, die das Niederschlagsdefizit jedoch nicht ausgleichen konnte. Es gab nur kurze Zeitfenster für einen Silageschnitt. Insgesamt ergab sich ein etwas zu warmer, deutlich zu trockener Juni bei ausgeglichener Sonnenscheinbilanz. Die Bodenfeuchtesituation blieb verbreitet angespannt, so dass weiterhin die Beregnungsanlagen liefen und eine hohe Waldbrandgefahr bestand. Vor allem in der Mitte Deutschlands waren die Bodenfeuchten in der Schicht von 0 bis 60 cm unter Wintergetreide so niedrig wie noch nie zu dieser Zeit seit 1961. Aufgrund der Wasserknappheit kam das Getreide zügig in die Gelbreife, teils auch in die Notreife. Gegen Monatsende wurde die erste Wintergerste – mit Ausnahme von Norddeutschland – geerntet. Allerdings litten die Kulturen auch unter den trockenen Verhältnissen und zeigten regional Trockenschäden. Grünlanderträge fielen vielerorts gering aus – der anschließende Aufwuchs zum zweiten Schnitt zeigte Probleme. Der Reihenschluss vieler Hackfrüchte verspätete sich. Einzig positiver Effekt der Trockenheit: der Infektionsdruck durch pilzliche Schaderreger war weiterhin gering.

Die Witterung im **Juli** war zweigeteilt: In der Mitte und im Süden herrschte oft extreme Hitze, die dort auch neue Rekordwerte brachte. Im Norden waren die Temperaturen etwas erträglicher und es wehte häufig ein starker Wind. Im Gegensatz zum Juni bekam dieses Mal der Norden deutlich mehr Niederschlag, womit sich die Bodenfeuchtesituation leicht entspannte. Ab Monatsmitte begann endlich auch dort die Wintergerstenernte und zum Monatsende hin teils die Winterrapsernte. Auf Schlägen, welche von Starkregen und Wind betroffen waren, kam es zu Umbrüchen im Getreide, insbesondere bei Winterroggen. Für Silage- und Heuschnitte boten sich trotzdem immer wieder Zeitfenster an. Für den Rest von Deutschland waren die Abtrocknungsbedingungen fast schon zu gut. Mittel- und nun auch Süddeutschland litten unter der extremen Trockenheit. Die Bodenfeuchtesituation blieb sehr angespannt! Zügig setzte sich die Wintergerstenernte fort, ab Monatsmitte begann auch die Ernte von Winterraps und teilweise von Winterweizen. Die Abreife des Getreides verlief sehr schnell, teils ohne ausreichende Kornbildung. Besonders problematisch war der Wassermangel für den Mais: Trockenschäden wie eingerollte, teils auch verbrannte Blätter und allgemein nur schwach ausgebildete Pflanzen traten auf. Sowohl die Trockenheit als die anhaltende Hitze führten zu einigen Waldbränden. Aber auch unwetterartige Schauer und Gewitter mit Sturmböen waren ein Beigeschmack der

tropischen Verhältnisse. Deutschlandweit kam es dabei nur zeitweise zur Vermehrung pilzlicher Schaderreger.

Der **August** begann mit großer Trockenheit und Rekordhitze, etwa ab Monatsmitte präsentierte er sich wechselhaft mit teils kräftigen Regenfällen – die gelegentlich sogar unwetterartig ausfielen – sowie mit vorübergehend ergiebigem Dauerregen. Vor allem Norddeutschland war davon wieder betroffen. Lokale Niederschlags- und Gewitterereignisse gab es aber auch in anderen Teilen Deutschlands. Insgesamt war der Monat bei leicht positiver Sonnenscheinbilanz außergewöhnlich warm und die Niederschlagsbilanz nahezu ausgeglichen. Es war der zweitwärmste August seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Infolgedessen stieg die potentielle Verdunstung stark an und die Bodenfeuchte nahm bis Mitte des Monats vor allem in den oberen Bodenschichten stark ab (Abb. 9, links). Es kam vermehrt zu Waldbränden. In Mittel- und Süddeutschland spitzte sich die Trockenheit weiter zu. In Südhessen, Teilen von Nordbayern, Sachsen bis ins südliche Brandenburg waren die Böden so trocken wie seit 50 Jahren nicht. Da flächendeckende Niederschläge ausblieben, blieb die Bodenfeuchtesituation einigerorts bis zum Monatsende angespannt (Abb. 9, rechts). Insgesamt brachte aber das meist heiße und trockene Wetter gute Erntebedingungen sowie Möglichkeiten für Silage- und Heuschnitt hervor. Letzte Winterrapsernten wurden am Monatsbeginn eingefahren, danach begann verbreitet die Winterweizenernte. In der letzten Monatsdekade fand die neue Winterrapsaussaat statt. Am Monatsende lief der Winterraps bereits örtlich auf. Zudem wurde erster Mais gehäckselt. Lediglich in der zweiten und dritten Monatsdekade unterbrach die vorübergehend teils unbeständige Witterung – vor allem im Norden – die Ernte und Strohbergung. Außerdem führten die wechselhaften Phasen zu einer Zunahme von Blattkrankheiten bei Zuckerrüben. Verbreitet wurde ein erhöhtes Aufkommen an Feldmäusen beobachtet.

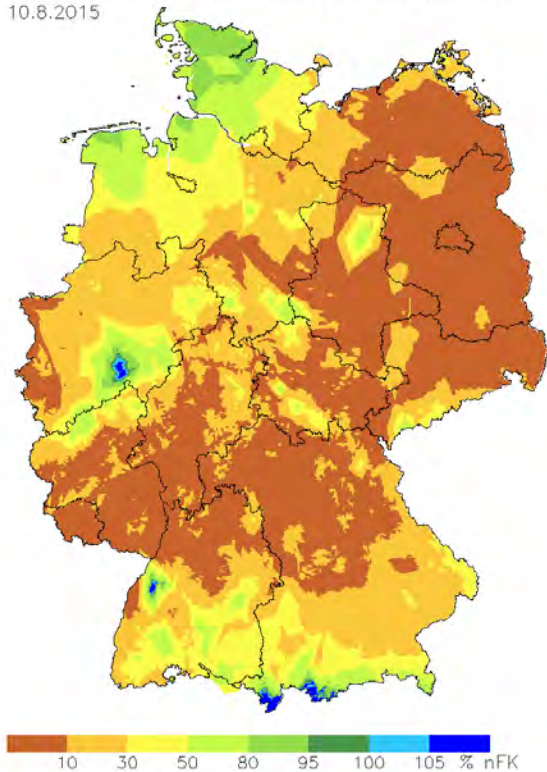
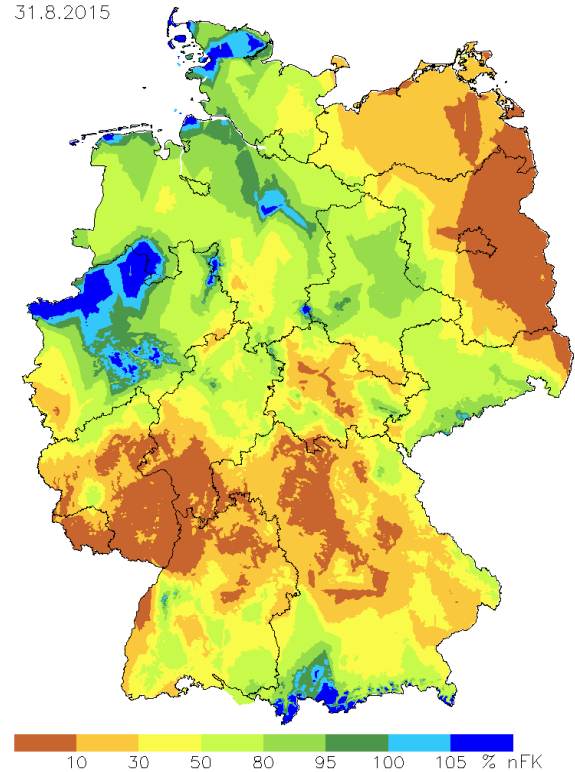
Bodenfeuchte unter Gras (sandiger Lehm, 0–30 cm)
10.8.2015Bodenfeuchte unter Gras (sandiger Lehm, 0 – 30 cm)
31.8.2015

Abb. 9: Bodenfeuchte (%nFK) in 0-30 cm unter Gras bei sandigem Lehm am 10. (links) und am 31.08.2015 (rechts)

Dem in weiten Teilen Deutschlands heiß-trockenen Sommer folgte ein unauffälliger **September**. Im Nordwesten blieb der Monat bei wenig Sonnenschein recht kühl und brachte gebietsweise einen deutlichen Niederschlagsüberschuss. Auch in der Mitte des Landes ging die seit Februar anhaltende Trockenheit zu Ende, während sie in den meisten Regionen im Süden und Osten weiter andauerte. Dort wechselten sich zu kühle und zu warme Abschnitte ab. Zudem gab es in ungünstigen Lagen vereinzelt ersten leichten Frost in Bodennähe und teils leichten Luftfrost. Insgesamt lagen Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein im September leicht unter dem vieljährigen Mittel. Die Winterrapsaussaart wurde in der ersten Monatsdekade landesweit abgeschlossen. Parallel begann die Wintergersten- und Winterweizenaussaart, die aufgrund des teils durchwachsenen Wetters – vor allem in der Westhälfte – häufig ins Stocken geriet und sich somit bis Monatsende bzw. sogar darüber hinaus hinzog. In Abhängigkeit der Niederschläge liefen die jungen Saaten regional sehr unterschiedlich auf. Die Situation im Mais stellte sich stark abhängig vom Boden dar. Auf leichten Böden erfolgte die Silageernte sehr früh mit deutlich zu hohen Trockensubstanzgehalten, auf schweren Böden ab Monatsende bzw. im Oktober. Auch die Zuckerrübenkampagne begann regional zum Monatswechsel. Durch das insgesamt niedrige Temperaturniveau und das teils unbeständige Wetter blieb der Befall durch den Rapserrfloh verhalten, jedoch gab es ein verstärktes Problem mit Mäusen und Schnecken. Vor allem das trocken-sonnige

Monatsende konnte vereinzelt noch für einen letzten Grünlandschnitt genutzt werden. Oftmals mangelte es aber infolge der verbreiteten Trockenheit an einem ausreichend großen Aufwuchs. Nach Aussagen einiger Landwirte erbrachte das Grünland in diesem Jahr einigerorts einen Schnitt zu wenig und insgesamt zu geringe Erträge.

Die Fruchtreife der Rosskastanie setzte verbreitet mit einer deutlichen Verspätung ein. Regional, beispielsweise im Nordwesten Deutschlands, wurden die Früchte mehr als 3 Wochen später reif, als im langjährigen Mittel (Abb. 10).

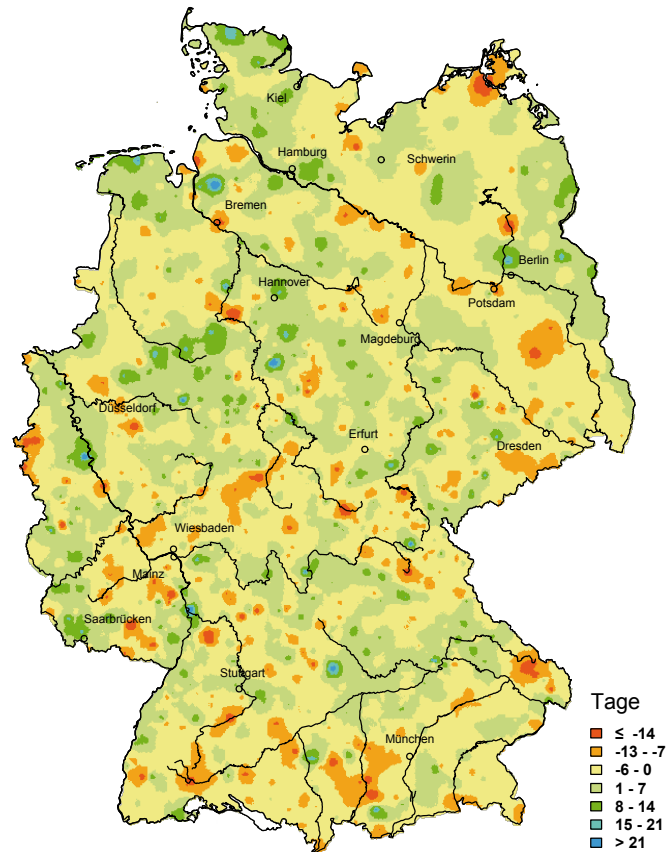


Abb. 10: Abweichung (Tage) des Beginns der Fruchtreife der Rosskastanie 2015 vom langjährigen Mittel

Ein recht typischer **Oktober** mit teilweise ruhigem Wetter inklusive viel Sonnenschein und in den Niederungen mit Nebel oder Hochnebel folgte. Unbeständige Tage mit Niederschlägen gab es aber auch. Um die Monatsmitte herum führte ein erstes winterliches Intermezzo gebietsweise bereits zu Schneefällen, teils bis ins Flachland. Außerdem trat verbreitet leichter bis mäßiger Frost in Bodennähe und auch leichter Luftfrost auf (Abb. 11). Der Oktober war trotz allem der neunte zu trockene Monat in Folge und die Bodenfeuchte blieb weiterhin – besonders im Süden – zu gering. Zudem fiel der zweite Herbstmonat insgesamt ein bisschen zu kühl bei leicht unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer aus. Aufgrund der zeitweiligen Unbeständigkeit waren die Böden nicht immer befahrbar, so dass die Feldarbeiten vorübergehend ruhen mussten – vor allem im Nordosten. Sonst bestanden häufig recht günstige Bedingungen: alle anstehenden Außenarbeiten von der noch letzten Wintergerstenaussaat über die Winterweizenaussaat bis hin zur Rüben-ernte waren problemlos möglich. In den Rübenbeständen begünstigte das weitgehend trocken-sonnige Wetter auch die Zuckereinlagerung. Neben der Ernte der Rüben setzte sich auch die der späten Kartoffeln fort. Die Silomais-ernte wurde abgeschlossen, obwohl zum Erntezeitpunkt nicht alle Bestände komplett abgeerntet waren. Die Aktivität der Schädlinge kam durch die erneute Milderung nach dem kurzen Kälteeinbruch noch nicht zum Erliegen. Andererseits entwickelten sich die Wintersaaten gut, sodass mitunter Einkürzungen notwendig waren.

Die zu diesem Zeitpunkt recht milden Temperaturen ließen noch keine Vegetationsruhe zu. Insgesamt führten die vielen strahlungsintensiven Tage, gepaart mit den kühlen Nächten, zu einer besonders intensiven, bunten Blattverfärbung in diesem Jahr.

Minimumtemperaturen am Erdboden in der Nacht zum
12.10.2015

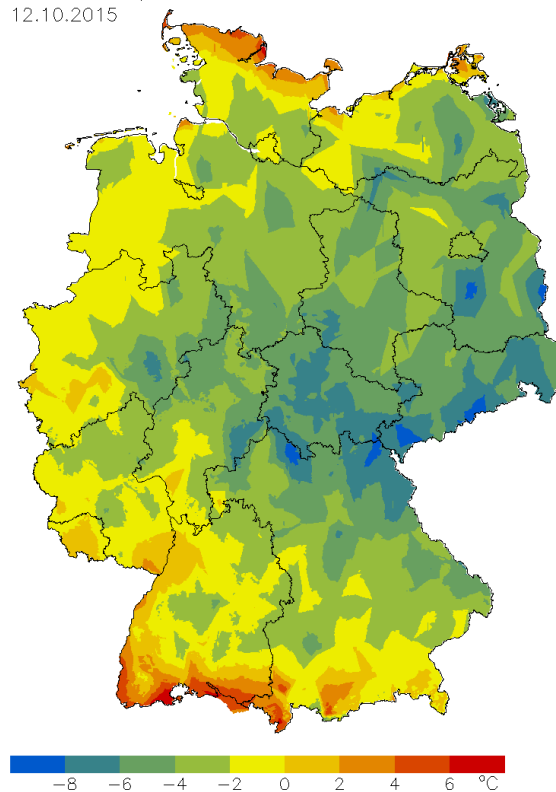
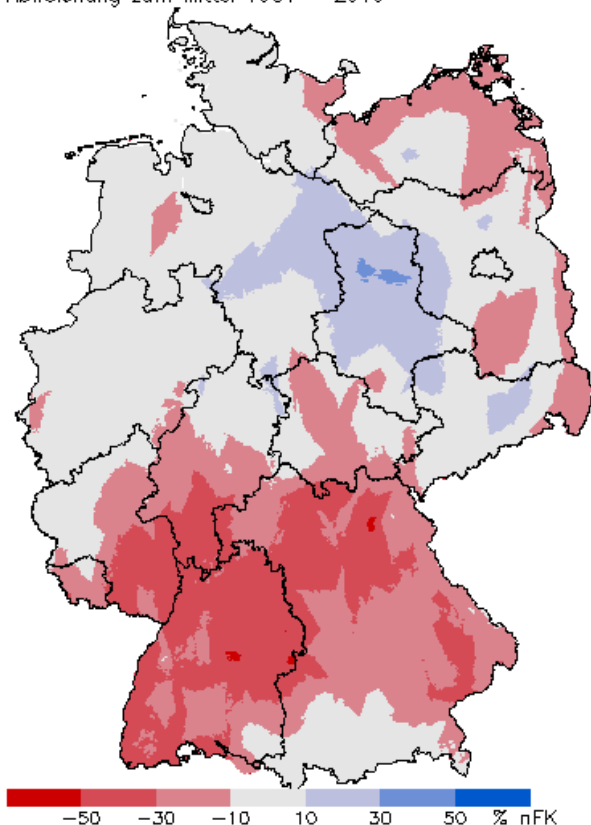


Abb. 11: Tiefsttemperatur am Boden (°C) in der Nacht auf den 12.10.2015

Im **November** überquerten immer wieder Ausläufer atlantischer Tiefdruckgebiete Norddeutschland. In Süddeutschland dagegen dauerte die Trockenheit unter Hochdruckeinfluss zunächst noch an (Abb. 12, links). Dazu herrschte verbreitet eine für die Jahreszeit extreme Wärme. Zum letzten Monatsdrittel kamen die Niederschläge weiter südwärts voran und beendeten auch dort die Trockenheit – die kritische Bodenfeuchtesituation entspannte sich endlich (Abb. 12, rechts). Die Wasservorräte der Böden füllten sich allmählich auf – einzige Bodenwasserdefizite stellten Standorte mit schweren Böden dar. Der November wurde nach dem Januar erst der zweite Monat des Jahres, der sein Regensoll deutlich übertraf. Zuletzt brachten die Niederschläge sogar einen empfindlichen Temperatursturz und in vielen Gebieten folgte ein erster längerer Winterabschnitt. Trotzdem war der letzte Herbstmonat bei genügend Niederschlag und Sonnenschein insgesamt erheblich zu mild. Er wurde deutschlandweit zum wärmsten November seit Beginn regelmäßiger Wetteraufzeichnungen. Ohne Probleme konnten alle landwirtschaftlichen Arbeiten zu Ende geführt werden. Vor Inkrafttreten der Sperrfrist konnte auf Grünland meist noch Gülle gefahren werden und auch Pflanzenschutzmaßnahmen fanden anfangs noch statt. Außerdem wurde die Zuckerrübenenernte fortgesetzt. Die Kulturpflanzen, wie auch die meisten heimischen Ungräser und -kräuter wuchsen weiter, insbesondere in der sehr milden Phase über die Monatsmitte hinweg, die eher in den September gepasst hätte. Von Vegetationsruhe war noch nichts zu spüren. Daran änderte auch der

kurze Wintereinbruch mit erster dünner Schneedecke am Monatsende nicht viel. Die kühle Phase war zudem noch nicht ausreichend für die Abhärtung der Winterungen und auch Zwischenfruchtbestände sind noch nicht abgefroren. Die Stieleichen hatten noch nicht überall ihre Blätter abgeworfen, so dass der phänologische Winterbeginn, der durch diese Phase eingeleitet wird, noch nicht deutschlandweit eingetreten war.

Bodenfeuchte unter Gras (sandiger Lehm) 1.11.2015
Abweichung zum Mittel 1981 – 2010



Bodenfeuchte unter Gras (sandiger Lehm) 30.11.2015
Abweichung zum Mittel 1981 – 2010

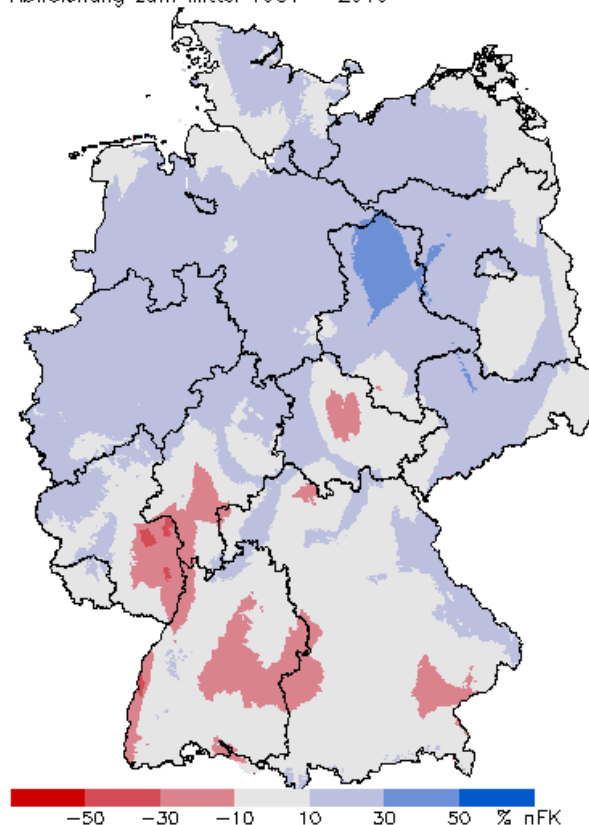


Abb. 12: Abweichung der Bodenfeuchte (%nFK) in 0-60 cm unter Gras bei sandigem Lehm am Anfang (links) und Ende (rechts) November 2015 zum langjährigen Mittel 1981-2010

Nach dem wärmsten November seit 1981 hat der **Dezember** sogar seinen bisherigen absoluten Temperaturrekord gebrochen. Nicht nur deutschlandweit, sondern auch in allen Bundesländern war der Dezember der wärmste seit Beginn regelmäßiger Wetteraufzeichnungen. Tiefdruckgebiete schaufelten jede Menge warme Luft heran. Zwar fiel gelegentlich etwas Regen, insgesamt war der Dezember aber viel zu trocken, extrem warm und mit Ausnahme der nebelgeplagten Flusstäler auch sehr sonnig: Von Winter keine Spur! Die milde Witterung die bereits in den letzten Novembertagen ihren Anfang gefunden hatte, hielt bis zum Jahresende durch. Vor allem das Weihnachtsfest mutete frühlingshaft an. Frostige Nächte waren eine Rarität, womit die Winterungen nicht abgehärtet wurden und auch die Zwischenfruchtbestände noch nicht abgefroren sind. Entsprechend warm blieben die Böden, die Vegetation kam nicht zur Ruhe. Die Pflanzen entwickelten sich bei Tagesmitteltemperaturen von 5°C und mehr weiter fort. In der ersten Dezemberhälfte wurden schon vermehrt stäubende Haselkätzchen gesichtet, während andernorts noch nicht einmal überall die Stieleichen oder spät reifende Apfelbäume die Blätter verloren hatten – was normalerweise das Ende der Vegetationszeit anzeigt. Eine Haselblüte im Dezember ist nicht ungewöhnlich. Wenn auch die Schwankungsbreite bei dieser phänologischen Phase insgesamt sehr groß ist,

ist dennoch tendenziell eine Verfrühung zu erkennen. Damit setzte der Vorfrühling 2016 bereits Anfang Dezember 2015 ein. Des Weiteren blühten im Monatsverlauf vereinzelt auch schon die Erlen.

Bodenfeuchte und Mikroklima

Schlagzeile:

Nach einem sehr milden Winter blieben auch im Frühjahr 2015 die positiven Temperaturabweichungen erhalten, was sich in einer früh beginnenden Vegetationsentwicklung widerspiegelte. Wie schon im Vorjahr war das Frühjahr deutlich zu trocken und so kam es bereits im April zu kleineren Waldbränden und regional starteten erste Beregnungsgaben. Insgesamt setzten sich im Jahresverlauf sowohl die deutlich zu trockenen, als auch zu warmen Bedingungen weiter fort. Lediglich im September und Oktober gab es zu niedrige Bodentemperaturen.

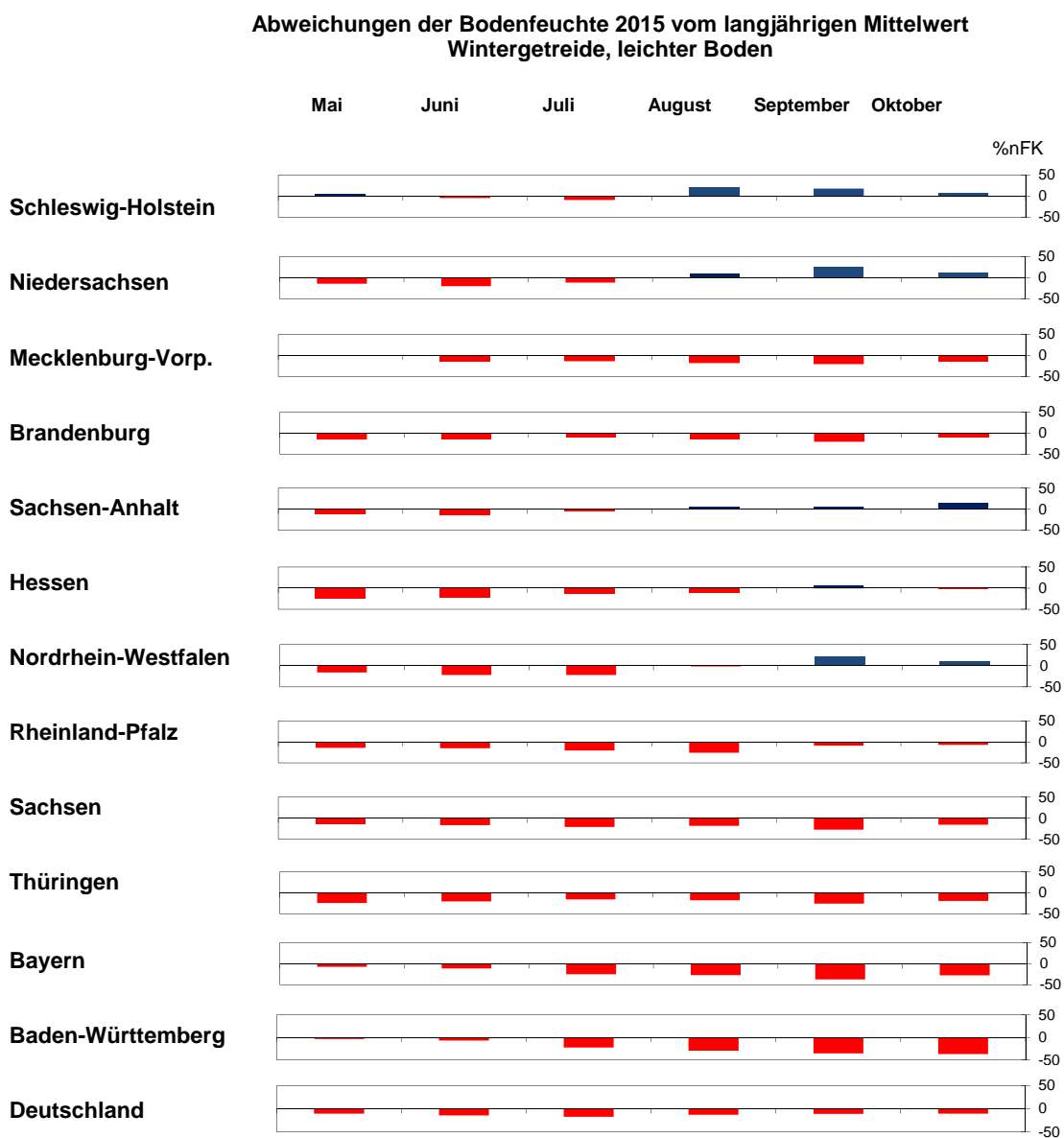


Abb. 13: Monatliche Abweichungen der Bodenfeuchte von Wintergetreide auf leichten Standorten in %nFK im Jahr 2015 vom langjährigen Mittelwert 1962-2006 (rot = zu trocken, blau = zu feucht)

Die Bodenfeuchtesituation während der Vegetationszeit 2015

Der Monat Mai war im Norden und auch im Süden niederschlagsnormal bis leicht zu feucht, was sich in einer nur geringen Bodenfeuchteabweichung vom langjährigen Mittel niederschlägt. Die restlichen Gebiete in Deutschland trockneten zunehmend aus. Im Juni verschärfte sich die Situation weiter und so kam es in der ersten Junidekade im mittleren Deutschland in einem breiten Streifen von West nach Ost zu einer extrem niedrigen Bodenfeuchtesituation auf leichten Böden unter Wintergetreide, (s. auch unter „Besondere Situation 2015“, Besonderheiten zur Bodenfeuchte, ab S. 46). Die zu trockenen Bedingungen setzten sich mit Ausnahme Schleswig-Holsteins, hier war es von August bis Oktober zu nass, auch in den Folgemonaten bis zum Oktober weiter fort.

Mikroklima 2015

2015 war das zweitwärmste Jahr in Deutschland seit Beginn der flächendeckenden Messungen im Jahr 1881 und das spiegelt sich auch deutlich in den Messergebnissen der mikroklimatischen Bedingungen wieder (Tab. 1). Die Wintermonate Januar und Februar waren durch positive Abweichungen der Bodentemperaturen gekennzeichnet. Im Mai und Juni, sowie im September und Oktober gab es leicht negative Abweichungen bei den Bodentemperaturen, sonst waren alle Monate zu warm. Besonders große positive Abweichungen waren im November und Dezember zu verzeichnen. Potenzielle Verdunstungsraten von 120–130 % im Monat April sorgten einerseits für eine rasche Abnahme der Bodenfeuchte, andererseits für gute Bestellbedingungen.

Abweichungen vom langjährigen Mittel für das Jahr 2015

	Januar		Februar		März				April				Mai				Juni			
	A	B	A	B	A	B	C	E	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Schleswig-Holstein	1,6	2,9	0,6	1,6	1,8	1,9	110,0	-2,3	0,7	-0,2	120,6	41,4	-1,7	-0,9	89,5	75,0	-1,2	-1,5	98,4	63,4
Niedersachsen	1,4	3,0	0,4	1,5	1,4	1,3	115,0	-2,4	0,5	-0,7	124,1	52,1	-1,3	-1,6	98,8	57,5	-0,7	-1,3	107,5	53,0
Mecklenburg-Vorp.	1,7	3,8	0,6	1,6	1,8	2,1	112,3	-4,4	1,1	0,5	125,7	42,0	-1,2	-1,4	96,7	66,4	-0,9	-0,9	103,1	57,8
Brandenburg	1,8	4,3	0,7	1,3	1,7	1,8	109,0	-6,3	0,6	-0,4	122,7	47,8	-0,8	-1,4	101,6	57,9	-0,5	-0,7	100,4	66,8
Sachsen-Anhalt	1,8	4,4	0,6	1,8	1,8	1,7	107,3	-5,5	0,8	-0,4	122,7	51,7	-0,3	-1,6	106,1	53,6	0,0	-0,5	105,8	53,1
Hessen	1,2	2,7	-0,1	1,3	0,7	0,3	116,0	-5,9	0,7	-1,1	131,2	39,1	-0,6	-1,4	111,0	42,8	-0,6	-0,5	111,2	51,0
Nordrhein-Westfalen	0,8	1,7	-0,2	0,5	0,5	0,1	103,0	-1,2	0,7	-1,1	120,6	49,1	-0,7	-1,3	102,3	55,5	-0,4	-1,3	113,7	52,6
Rheinland-Pfalz	0,8	1,9	-0,5	-0,3	0,8	0,4	116,2	-9,6	1,4	0,1	129,2	37,9	0,2	0,0	103,2	48,9	0,3	0,3	114,6	46,1
Sachsen	1,1	4,4	0,1	1,3	1,3	1,6	114,2	-7,2	0,4	-0,6	122,2	44,9	0,3	-0,5	113,1	42,0	-0,3	-0,1	100,7	66,0
Thüringen	1,1	4,0	-0,2	1,4	0,9	1,2	111,6	-6,5	0,7	-0,5	127,5	40,6	0,0	-0,9	114,8	35,2	-0,4	-0,1	106,9	54,8
Bayern	1,2	4,6	-0,7	-0,1	1,0	1,2	124,3	-9,9	0,7	-0,8	129,7	41,8	0,1	0,5	98,8	61,3	0,5	1,1	105,3	59,6
Baden-Württemberg	1,1	2,7	-1,1	-1,3	0,8	-0,1	121,9	-8,7	1,1	-0,8	129,0	43,1	0,4	0,3	99,6	65,2	0,7	0,6	105,6	60,3
Gesamt BRD	1,3	3,4	-0,1	0,6	1,2	1,1	115,3	-6,2	0,8	-0,5	126,2	44,2	-0,4	-0,6	101,2	58,0	-0,2	-0,3	105,9	57,5

	Juli				August				September				Oktober				November		Dezember	
	A	B	C	F	A	B	C	F	A	B	C	E	A	B	C	E	A	B	A	B
Schleswig-Holstein	-0,3	-0,2	105,3	-1,1	1,1	1,1	101,4	-0,2	-0,1	-0,2	94,7	10,2	0,1	0,0	90,3	-2,7	3,0	3,5	5,1	6,2
Niedersachsen	0,3	0,4	112,1	-1,5	1,5	1,1	112,3	-0,4	-0,6	-0,3	93,9	12,9	-0,4	-0,5	85,4	0,0	3,3	3,4	5,5	6,5
Mecklenburg-Vorp.	-0,2	-0,4	111,0	-2,3	1,5	1,3	115,1	-1,7	0,1	0,1	103,3	9,5	-0,3	-0,4	94,4	1,4	2,8	2,9	4,8	5,6
Brandenburg	0,5	0,8	112,7	-2,0	2,7	2,3	126,4	-2,4	0,1	-0,3	102,9	10,2	-0,8	-0,8	87,5	7,4	3,0	2,8	5,0	5,9
Sachsen-Anhalt	1,0	1,4	114,5	-1,7	2,7	2,6	120,0	0,2	0,1	-0,1	93,5	15,9	-0,6	-0,4	75,5	11,9	3,4	3,4	5,3	6,3
Hessen	1,2	1,0	127,3	-2,7	1,5	1,9	121,8	-0,8	-1,1	-0,3	92,7	15,0	-0,8	-0,5	92,4	-0,6	2,9	2,9	4,6	4,9
Nordrhein-Westfalen	0,6	0,5	113,1	-1,8	1,3	0,8	116,1	0,3	-1,1	-1,0	89,9	13,4	-0,9	-1,1	81,8	2,1	3,3	3,5	5,5	6,2
Rheinland-Pfalz	2,1	1,8	130,5	-4,7	1,8	2,0	119,8	-1,5	-1,1	-0,5	97,6	13,0	-0,7	-0,1	79,7	-2,8	3,0	3,1	5,1	5,4
Sachsen	1,8	1,5	128,8	-4,1	3,1	2,7	125,9	-1,6	0,0	-0,4	98,7	5,2	-0,8	-1,2	77,3	7,2	3,3	3,3	4,7	6,1
Thüringen	1,4	1,6	126,8	-2,9	2,4	2,4	123,2	-1,2	-0,6	-0,1	96,3	9,3	-1,0	-0,6	76,1	7,3	3,5	3,6	4,8	6,0
Bayern	2,3	1,8	133,0	-4,8	2,7	2,1	128,9	-2,3	-0,7	-0,4	100,0	-6,6	-0,5	0,0	88,8	3,1	3,1	2,7	3,6	5,5
Baden-Württemberg	2,6	1,5	130,2	-5,0	2,0	1,5	119,4	-2,4	-1,1	-1,0	99,6	-5,2	-0,6	-0,5	86,6	-3,5	2,9	2,6	3,9	3,7
Deutschland	1,2	1,0	121,4	-3,1	2,0	1,7	119,3	-1,4	-0,6	-0,5	97,4	6,4	-0,6	-0,5	85,8	1,5	3,1	3,1	4,7	5,6

- Legende:
- A = Bodentemperatur unbewachsener Boden 5 cm (rot = zu warm, blau = zu kalt)
 - B = Minimumtemperatur in Bodennähe für unbewachsenen Boden (rot = zu warm, blau = zu kalt)
 - C = Penman-Verdunstung, Abw.in % (rot = zu hohe Verdunstung, blau = zu geringe)
 - D = Benetzungszeiten, Abw. in % (rot = rel. geringe Benetzungszeiten, blau = relativ hohe)
 - E = Krümmenbodenfeuchte, %nFK (rot = relativ trocken, blau = relativ feucht)
 - F = Kornfeuchte (% , 19 Uhr) (rot = relativ gering, blau = relativ hoch)

Tab. 1: Charakteristische agrarmeteorologische Kenngrößen für das Jahr 2015.

Die Tabelle enthält die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert (1962-2006) im Jahr 2015 für die Parameter Bodentemperatur, Minimumtemperatur in Bodennähe, Penman-Verdunstung und Benetzungszeit. Die rot dargestellten Werte stellen zu warme, bzw. Zeiten mit hoher Verdunstung und geringer Blattbenetzung, die blauen Werte zu niedrige Temperaturen, hohe Blattbenetzung und geringe Verdunstung dar.

Besondere Situation 2015

Frühjahrs- und Frühsommertrockenheit

Extreme Bodenfeuchtesituation

Der Juni 2015 brachte typisches Frühsommerwetter mit einem Wechsel von hochsommerlichen Abschnitten und wiederholt kühleren Phasen. Dies führte vor allem in der ersten Monatshälfte zur Fortdauer der sehr trockenen Witterung. In der Land- und Forstwirtschaft war die Brandgefahr stark erhöht.

Die Abb. 14 bis 17 zeigen die Entwicklung der Extremwerte der Bodenfeuchte zwischen dem 5. und 30. Juni 2015. Die Werte beziehen sich auf einen leichten Boden unter Wintergetreide in einer Schicht von 0 bis 60 cm. Die Abb. 17 zeigt am 22. Juli 2015 erneut eine extreme Bodenfeuchtesituation für einen leichten Boden unter Zuckerrüben im südlichen Deutschland.

Fazit:

- Frühjahrs- und Frühsommertrockenheit wird häufiger beobachtet.
- Landwirtschaftliche Kulturen sind in diesem Zeitraum auf eine ausreichende Wasserversorgung angewiesen, sonst drohen Ertragsverluste.

05.06.2015 - Es beginnt extrem zu werden.

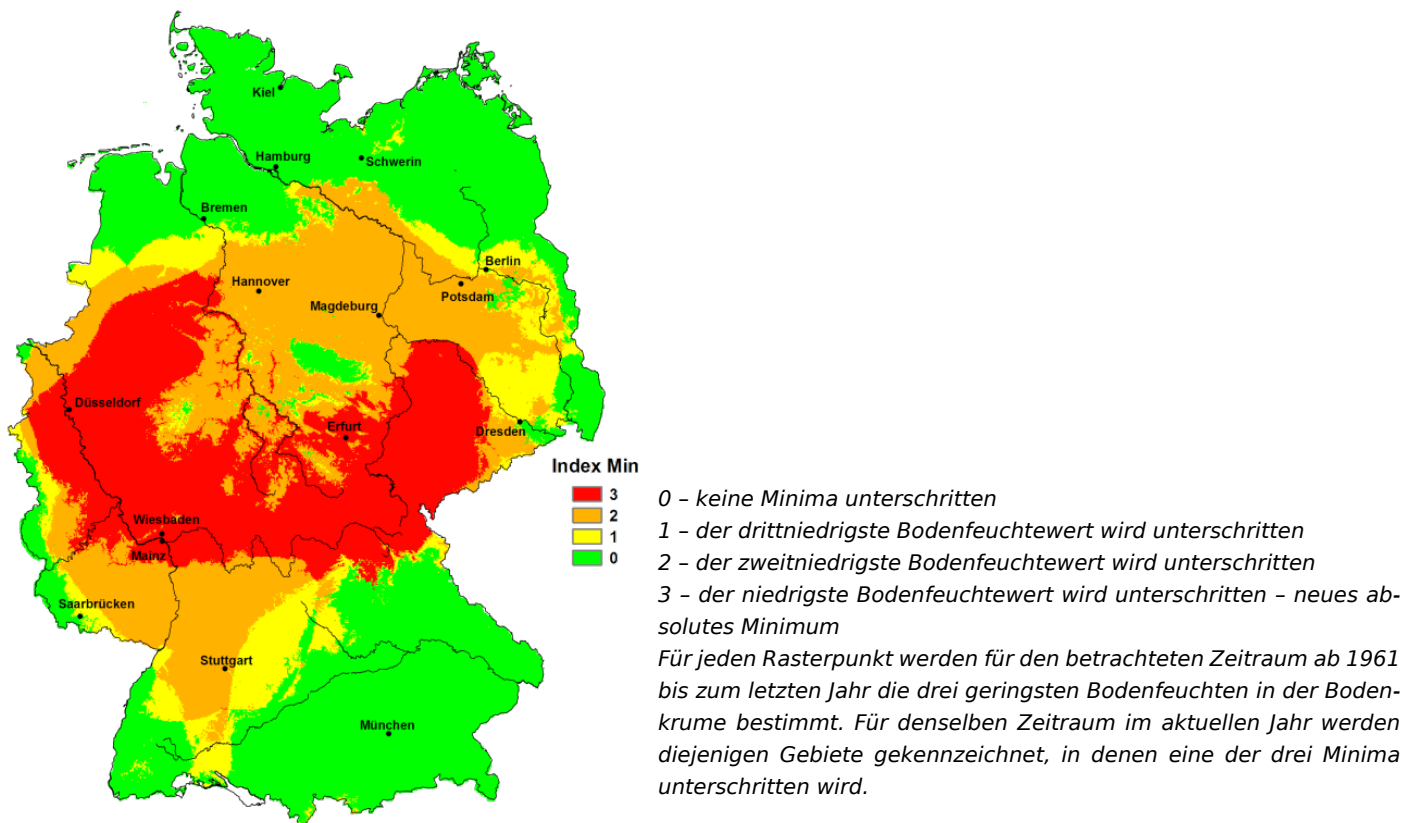


Abb. 14: Schnelle Verschärfung der Bodenfeuchtesituation (Index Min) in 0-60 cm unter Wintergetreide bei leichtem Boden am 05.06.2015

08.06.2015 - Es ist extrem: Auf 45 % der Fläche Deutschlands ist seit 1961 ein neues absolutes Minimum der Bodenfeuchte erreicht worden (Index 3 - rot). Betroffen waren die Bundesländer Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Thüringen, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Die Bodenfeuchte lag hier meist unter 40 %nFK.

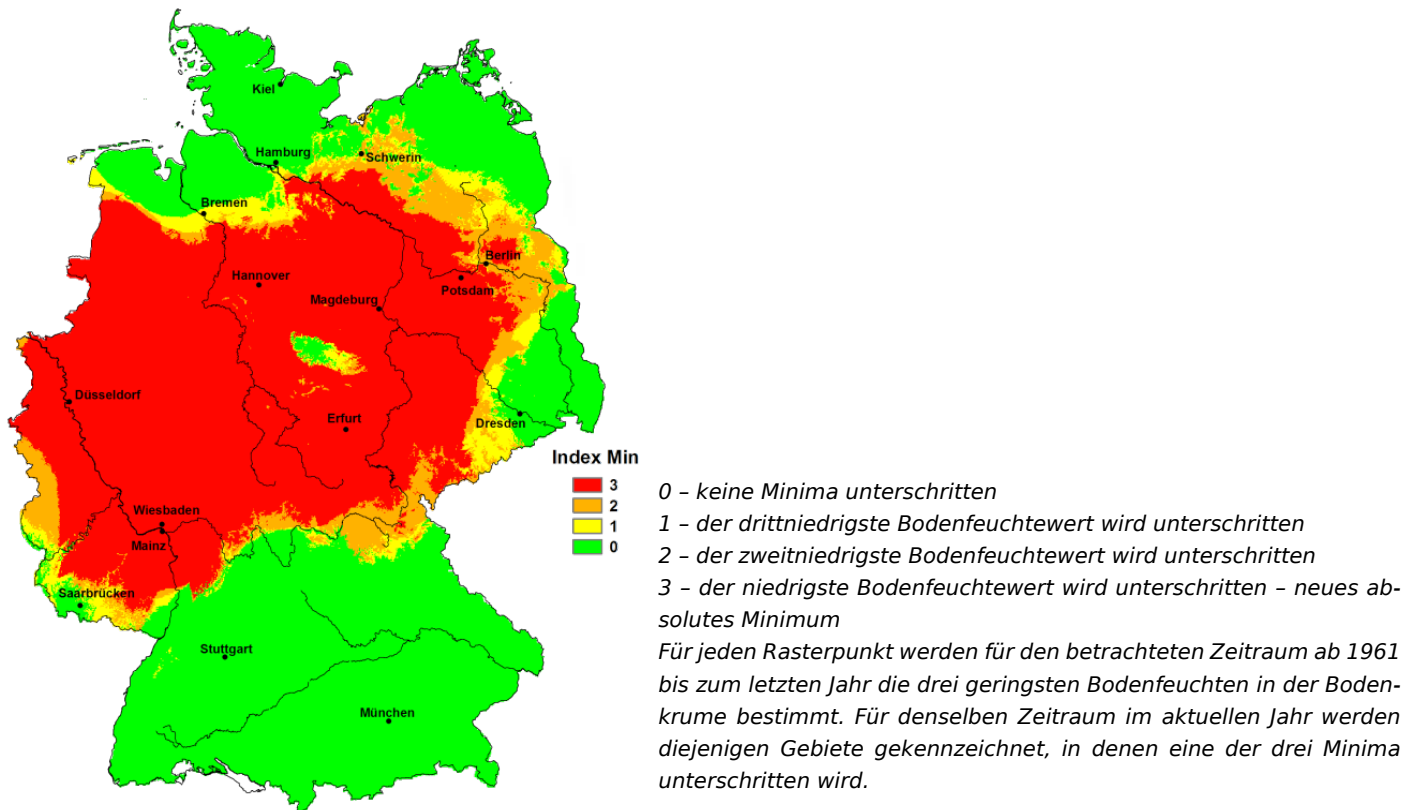
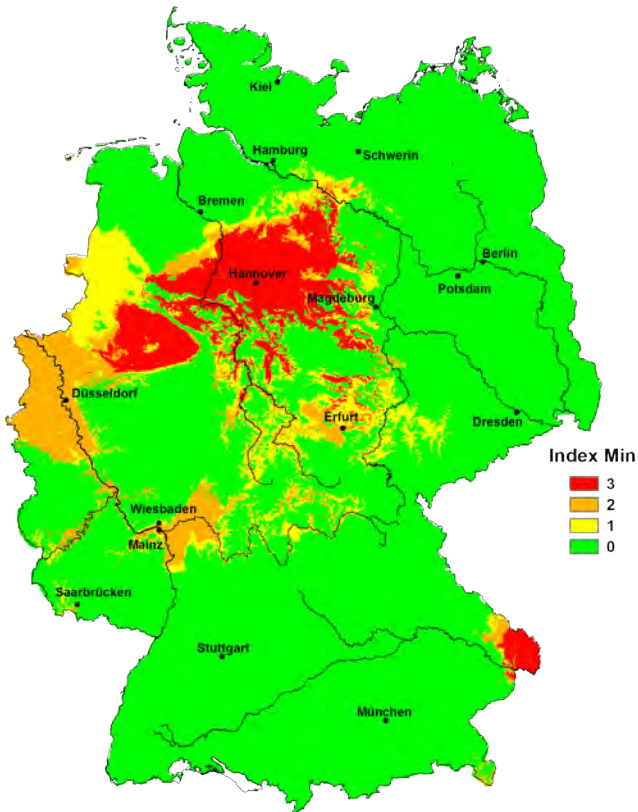


Abb. 15: Extreme Bodenfeuchtesituation (Index Min) in 0-60 cm unter Wintergetreide bei leichtem Boden am 08.06.2015



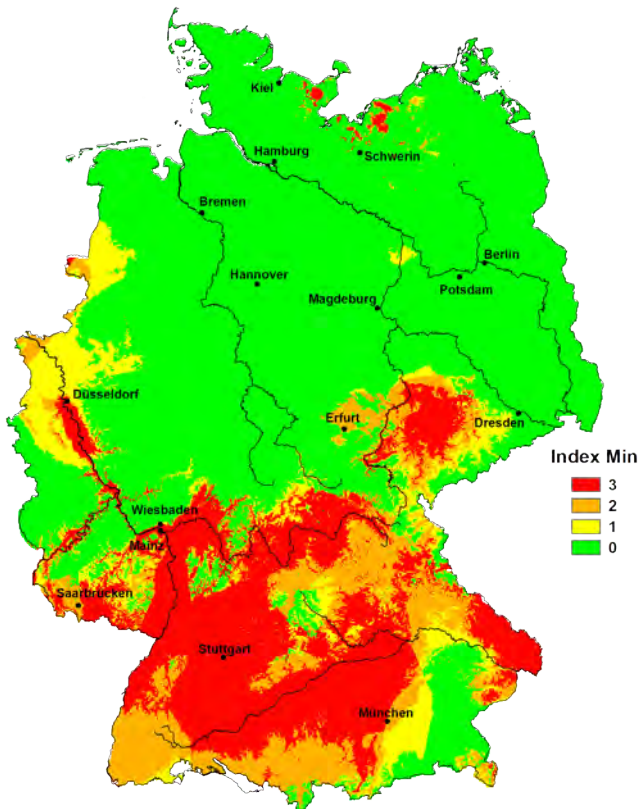
30.06.2015 - Extreme Dürre schwächt sich ab, aber keine Entspannung, d.h. die Bodenfeuchten bewegen sich jetzt in einem Bereich, der für diesen Zeitraum normal ist.

Index Min
 3
 2
 1
 0

0 - keine Minima unterschritten
 1 - der drittniedrigste Bodenfeuchtwert wird unterschritten
 2 - der zweitniedrigste Bodenfeuchtwert wird unterschritten
 3 - der niedrigste Bodenfeuchtwert wird unterschritten - neues absolutes Minimum

Für jeden Rasterpunkt werden für den betrachteten Zeitraum ab 1961 bis zum letzten Jahr die drei geringsten Bodenfeuchten in der Bodenkurve bestimmt. Für denselben Zeitraum im aktuellen Jahr werden diejenigen Gebiete gekennzeichnet, in denen eine der drei Minima unterschritten wird.

Abb. 16: Abschwächung der extremen Bodenfeuchtesituation (Index Min) in 0-60 cm unter Wintergetreide bei leichtem Boden am 30.06.2015



Am 22.07.2015 werden auf ca. 19 % der Fläche Deutschlands neue absolute Minima der Bodenfeuchte erreicht.

Index Min
 3
 2
 1
 0

0 - keine Minima unterschritten
 1 - der drittniedrigste Bodenfeuchtwert wird unterschritten
 2 - der zweitniedrigste Bodenfeuchtwert wird unterschritten
 3 - der niedrigste Bodenfeuchtwert wird unterschritten - neues absolutes Minimum

Für jeden Rasterpunkt werden für den betrachteten Zeitraum ab 1961 bis zum letzten Jahr die drei geringsten Bodenfeuchten in der Bodenkurve bestimmt. Für denselben Zeitraum im aktuellen Jahr werden diejenigen Gebiete gekennzeichnet, in denen eine der drei Minima unterschritten wird.

Abb. 17: Extreme Bodenfeuchtesituation (Index Min) in 0-60 cm unter Zuckerrüben bei leichtem Boden am 22.07.2015

Wetter und Wein 2015

Das Weinjahr 2015 war geprägt von Wetterextremen. Wiederholte sommerliche Hitzeperioden mit rekordverdächtigen Höchsttemperaturen wurden jeweils nur kurz von Abkühlungen unterbrochen. Im September strapazierten einige regenreiche Tage kurz vor der Lese nochmals die Nerven der Winzer, bevor ein trockener Herbst schließlich doch noch zu einem guten Ende führte.

Das Jahr 2015 begann - wieder einmal - mit einem zu milden Winter. Immerhin gab es aber doch einige nennenswerte Fröste zwischen minus 5 und minus 10 Grad, die Hoffnung machten, dass die gefürchtete Kirsch-Essig-Fliege als Zuwanderer aus warmen Regionen dezimiert werden würde. Der **März** war durchwachsen, es gab einige leichte Fröste, aber noch keine verfrühten sommerlichen Temperaturen, womit auch noch keine Wachstumsimpulse für den Wein ausgelöst wurden. Erst Mitte **April** folgten einige frühsommerliche Tage. Der Austrieb im Referenzweinstein des Weinbauamts im Eltviller Sonnenberg wurde am 22. April nur geringfügig früher als im Mittel der letzten 60 Jahre registriert. Spätfröste in größerem Ausmaß gab es zum Glück nicht, auch wenn in der Nacht zum 29. April die Null-Grad-Marke in einzelnen Lagen leicht unterschritten wurde.

Der leichte Entwicklungsvorsprung blieb angesichts der im Durchschnittsbereich liegenden Monate **Mai** und **Juni** bis zur Reblüte erhalten. Acht Tage früher als normal begann die Blüte des Rieslings im Sonnenberg (8. Juni). In der Folge wurde die Trockenheit zu einem immer größeren Wachstumsfaktor. Schon bis Ende Mai hatte sich an der Wetterstation Geisenheim ein Niederschlagsdefizit von rund 70 mm aufgebaut (nur der Januar hatte einen Regenüberschuss gebracht). Der Oberboden war schon stark ausgetrocknet. Am 12. Juni gab es über dem unteren Rheingau ein extremes Starkregenereignis mit Zentrum über Rudesheim. Dort fielen in kurzer Zeit 65 mm, in Assmannshausen und Geisenheim waren es noch 50 und in Winkel wie auch in Lorch gerade noch 20 mm. Der übrige Rheingau ging leer aus. Aber auch in den Starkregengebieten lief das meiste Wasser oberflächlich ab, mitunter gab es Erosionsschäden. Hagel beschränkte sich glücklicherweise nur auf einen kleinen Streifen, ohne dass er Einfluss auf den Ertrag haben sollte.

In der Folgezeit wuchs das Niederschlagsdefizit immer weiter an; bis Ende August fehlten die Regenmengen von drei durchschnittlichen Monaten. Besonders auf flachgründigen Böden wurde das Wasser so knapp, dass die Reben die überdurchschnittliche Wärme im **Juli** und **August** nur zum Teil ausnutzen konnten. Junganlagen mussten bewässert werden. Vorteil der Trockenheit war, dass sich kaum Krankheitsdruck aufbauen konnte. Peronospora sollte die ganze Saison über kein Thema bleiben.

Oidium hingegen stand - temperaturbedingt - stärker im Fokus. Die allseits gefürchtete Kirschessigfliege war praktisch kein Thema. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Männchen bei Temperaturen über 30 Grad ihre Aktivitäten stark reduzieren und Weibchen die Eiablage ab 32 Grad einstellen. Somit konnte sich keine nennenswerte Population aufbauen. Erfolgreich war auch die von vielen Winzern durchgeführte verstärkte Freistellung der Traubenzone.

Trotz der enormen Trockenheit setzte die Reife beim Riesling im Referenzweinstein am 15. August ein und damit immerhin noch fünf Tage früher als im langjährigen Mittel. Als man sich Mitte **September** mit den fehlenden Niederschlägen bereits abgefunden hatte, fielen doch noch größere Regenmengen. Innerhalb von zehn Tagen wurden über den Rheingau hinweg 35 bis 45 l/m² gemessen. Das führte dazu, dass die Reben nochmals Wasser über die Wurzeln aufnahmen und in die Beeren weiterleiteten. Diese drückten sich teilweise vom Stielgerüst ab bzw. es bildeten sich Haarrisse, beides ideale Bedingungen für Botrytis. Plötzlich stand doch wieder ein früherer Lesetermin auf der Tagesordnung als lange geplant.

Die allgemeine Rieslinglese begann bereits Ende September - mit ebenso erstaunlichen wie erfreulich hohen Mostgewichten. Positiv wirkte sich auch aus, dass es ab Ende September und auch den ganzen **Oktober** über trocken und vielfach auch sonnig blieb. Der Jahrgang 2015 geht mit sehr vielen Vorschusslorbeeren in den Verkauf.

Wetter und Rebentwicklung im Rheingau 2015

Tagesmitteltemperaturen Geisenheim im Vergleich zu den vieljährigen Mittelwerten 1981-2010
 (rote Flächen = zu warm, blaue Flächen = zu kalt) und Niederschläge (grün)

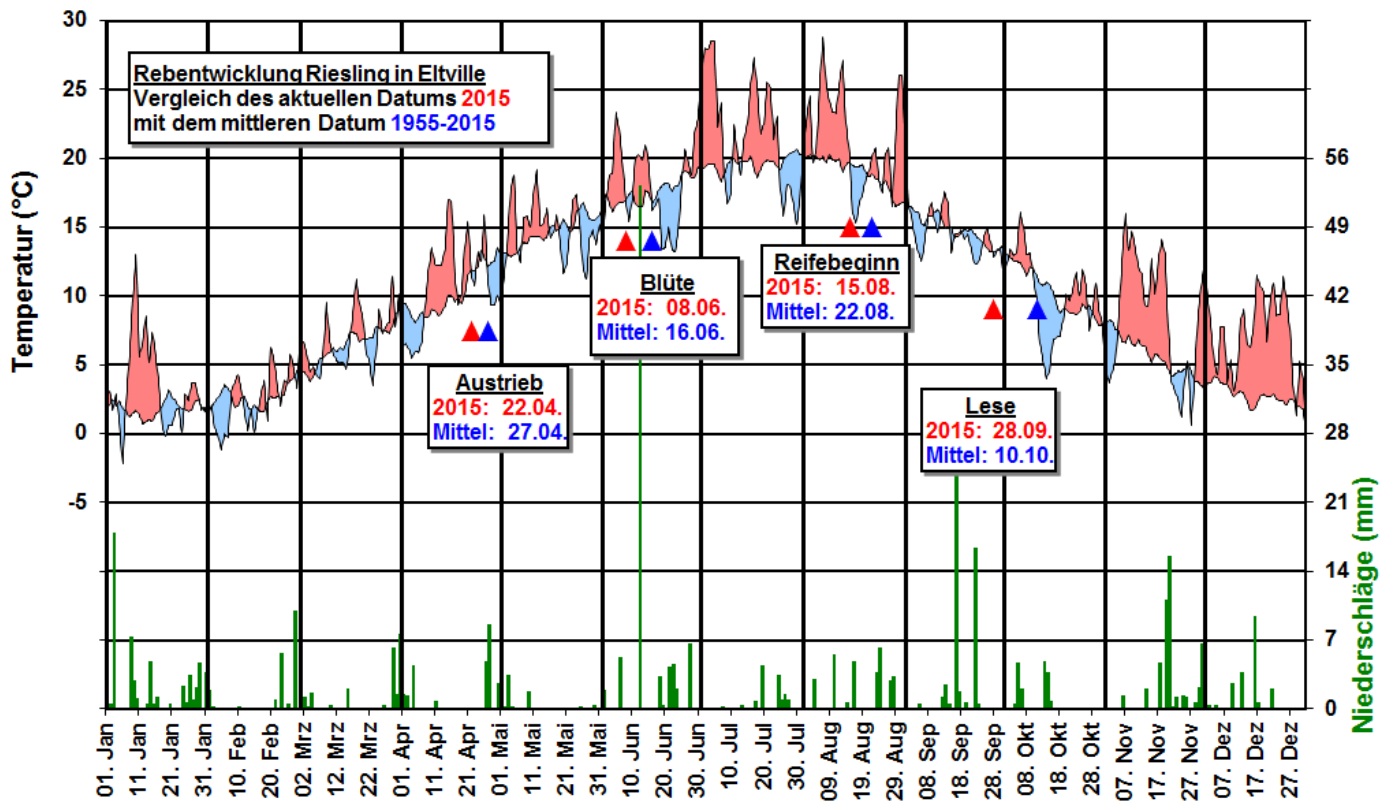


Abb. 18: Wetter und Rebentwicklung im Rheingau 2015

Ergebnisse von Messungen in der freien Atmosphäre

K. Zimmermann

Den folgenden Ausführungen liegen die Radiosondenmessungen (Luftdruck, Temperatur, Feuchte, Wind) an den Stationen des gemeinsamen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes und des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr zugrunde.

stabil, was auch sehr gut die Zonalkomponentendarstellung zeigt. Im September erfolgte wieder der Wechsel zur Westströmung, die dann bis zum Jahresende über ganz Deutschland dominierte.

Jährlicher Gang des Höhenwindes

In Abb. 1 sind für Schleswig und Stuttgart (als repräsentative Stationen für Nord- und Süddeutschland) die Strömungsverhältnisse für das Jahr 2015 dargestellt.

Dabei zeigen Schleswig und Stuttgart ähnliche Strömungsverhältnisse, auffällige Unterschiede sind lediglich im Februar zu erkennen. Im Januar herrschte im Mittel an beiden Stationen, wie auch die Zonalkomponentendarstellung zeigt, eine Westströmung vor, die mit der Höhe auf Nordwest drehte. Bodennah wurde sowohl in Schleswig als auch in Stuttgart eine schwache Südwestströmung registriert. Im Februar zeigte sich über Schleswig ein ähnliches Strömungsmuster wie im Januar. Über Stuttgart wurde in der Troposphäre eine im Mittel relativ schwache und unbeständige Strömung registriert. Ursache hierfür war Hochdruckeinfluss über Süddeutschland. Von März bis Juli waren überwiegend Westlagen wetterbestimmend, was auch durch die mittlere Luftversetzung über Schleswig und Stuttgart verdeutlicht wird. Während sich im August über Norddeutschland in der unteren Troposphäre eine Südströmung einstellte, was auch durch die Meridional Komponentendarstellung verdeutlicht wird, drehte der Wind über Süddeutschland in der unteren Atmosphäre auf Südwest. Die Anströmung aus südlichen Richtungen sorgte auch für einen überdurchschnittlich warmen August, wobei sich in der z.T. schwülwarmen Luft heftige Gewitter entwickeln konnten. Die südwestliche Strömung blieb auch im September stabil. Im Oktober wurde eine im Mittel eher schwache Luftversetzung aus südlichen Richtungen registriert, wobei sich bodennah in Stuttgart eine Ostströmung einstellte. Im November wechselte die Strömung, was auch deutlich in der Zonalkomponentendarstellung zu sehen ist, auf die für die Jahreszeit typische West- bis Nordwestströmung. Diese blieb auch im Dezember stabil. Bodennah blieb eine Südwestströmung, die im Dezember in Stuttgart auf Süd drehte, wetterbestimmend.

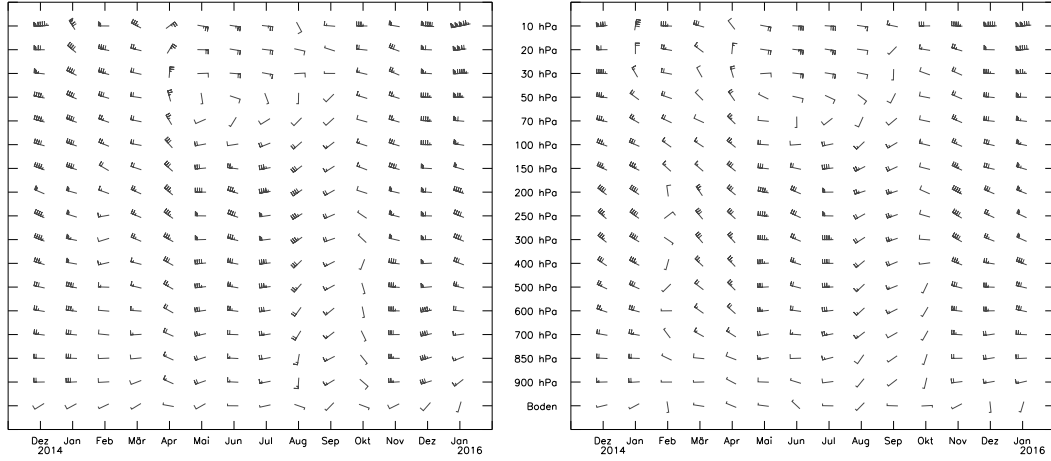
In der Stratosphäre dominierte von Januar bis April eine Nordwestströmung, die im Januar über Stuttgart und im April über beiden Stationen mit der Höhe auf Nord drehte, wobei über Schleswig die Strömung in der hohen Stratosphäre noch weiter auf Nordost drehte. Damit deutete sich bereits der Wechsel zur stratosphärischen Ostwindzirkulation an. Diese blieb von Mai bis August

Jährlicher Gang des Höhenwindes nach monatlichen Mittelwerten

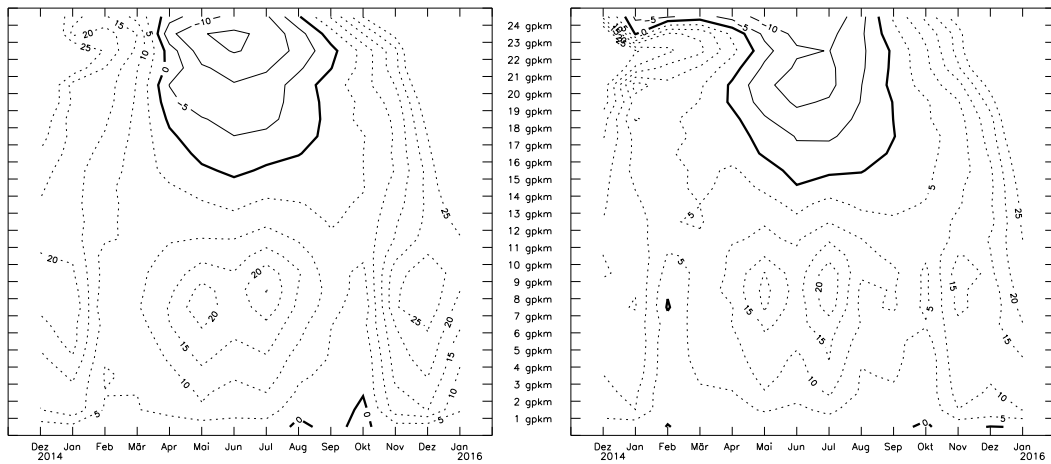
Schleswig

00 und 12 Uhr UTC

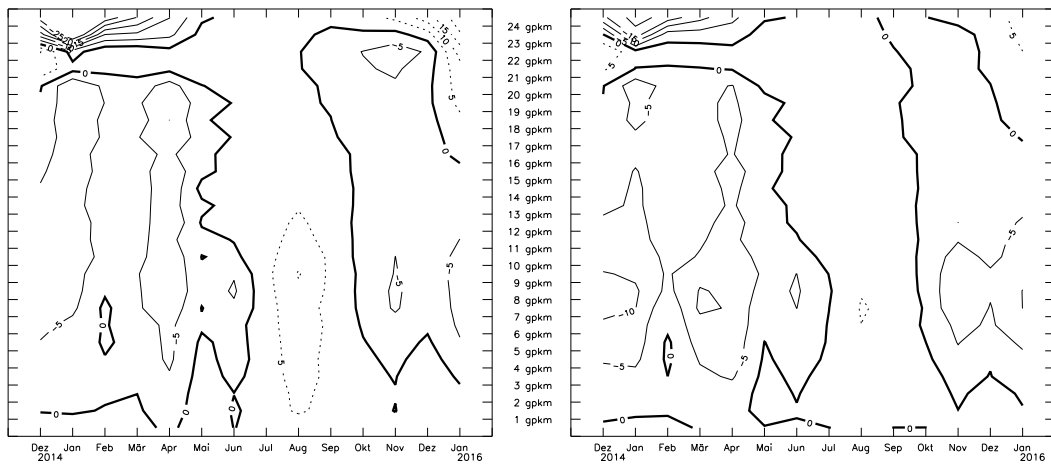
Stuttgart



Zonalkomponenten



Meridional Komponenten



Bei den Zonalkomponenten bedeuten positive Werte (gestrichelte Linien) Westkomponenten und negative Werte (durchgezogene Linien) Ostkomponenten. Bei den Meridional Komponenten bedeuten positive Werte (gestrichelte Linien) Südkomponenten und negative Werte (durchgezogene Linien) Nordkomponenten. Angaben der Zonal- und Meridional Komponenten in m/s; Angabe der Luftversetzung in Knoten. Ein ganzer Fiederstrich entspricht 5 Knoten (1kn=0,514m/s).

Abb. 1: Jährlicher Gang des Höhenwindes, Schleswig und Stuttgart 2015

Station	Druckfläche (hPa)	Beginn (Tag)	Ende (Tag)	Dauer (Tage)
SCHLESWIG (WEWA)	20	100*	244	145*
	50	146*	234*	89*
GREIFSWALD (WEWA)	20	101*	244	144*
	50	146	232*	87*
BERGEN (BW)	20	100*	244	145*
	50	140	235*	96*
LINDENBERG (OBS)	20	102*	244	143*
	50	139*	232	94*
ESSEN-BREDENEY (AWST)	20	100*	244	145*
	50	139*	235*	97*
MEININGEN (WEWA)	20	102*	244	143*
	50	141*	235*	95*
IDAR-OBERSTEIN (BW)	20	101	245	145
	50	140	235*	96*
STUTTGART(SCHNAR.AWST)	20	103	244	142
	50	140*	235*	96*
KÜMMERSBRUCK (BW)	20	102	244	143
	50	139*	234*	96
OBERSCHLEISSHEIM	20	103	244	142
	50	139*	235*	97*

Tab. 1: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre an 10 Radiosondenstationen für das Jahr 2015 (Datenbasis: Monatsmittelwerte und Tagesmittelwerte aus 2 bis 4 Windprofilen pro Tag, manuell korrigierte Werte sind mit * gekennzeichnet.)

Sommerliche Ostwindperioden

In Tab. 1 sind Anfang und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre für die Druckflächen 20 hPa und 50 hPa für 10 Radiosondenstationen zusammengefasst. Ergänzend zeigt Abb. 2 die Folge der sommerlichen Ostwindperioden für drei Druckflächen über Stuttgart von 1991 bis 2015.

Die stratosphärische Ostwindzirkulation setzte in 20 hPa über allen Stationen Ende der ersten/Anfang der zweiten Dekade im April ein und blieb bis Anfang September beständig.

In 30 hPa wurde die Ostwindzirkulation über Stuttgart, wie Abb. 2 zeigt, von Mitte April bis Ende August registriert. Damit war die Ostwindperiode 2015 deutlich kürzer als 2014.

In 50 hPa setzte die östliche Stratosphärenströmung an allen Stationen in der zweiten Maihälfte ein und blieb bis zur letzten Augustdekade stabil.

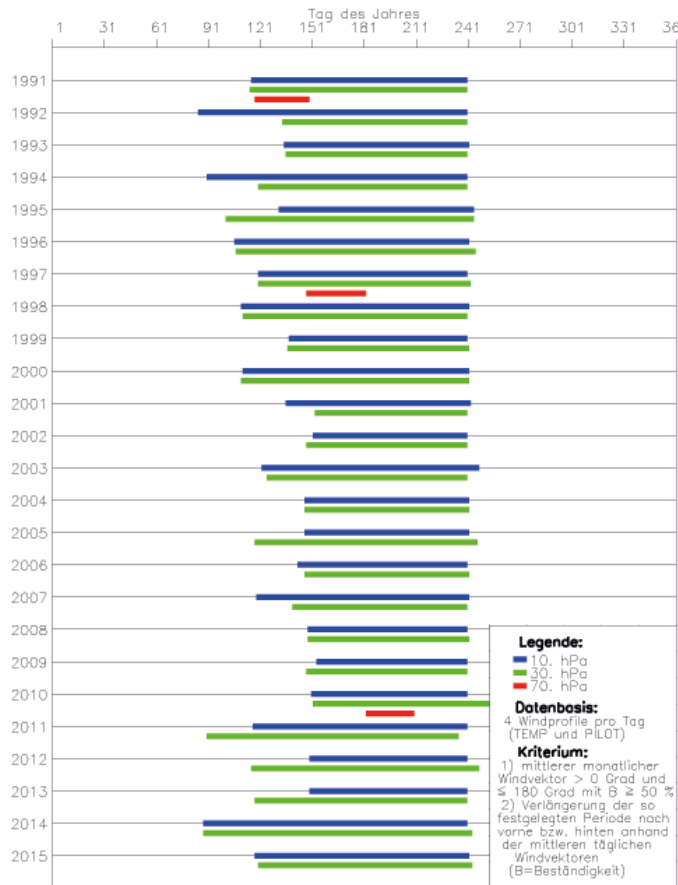


Abb. 2: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre, Stuttgart 1989-2015

Temperaturminima in der Stratosphäre

Temperaturminima in der Stratosphäre von -80°C und darunter wurden in Tab. 2 eingetragen. 2015 wurden derartige Temperaturminima über Schleswig, Greifswald und Lindenberg gemessen. Alle Stationen meldeten in der zweiten Dezemberhälfte Stratosphärentemperaturen von -80°C bis -82°C.

Station	Monat	Tag	Termin	Temperatur (C°)	Geopotential (gpm)
SCHLESWIG (WEWA)	Dez	28	0	-80	27609
	Dez	18	12	-81	27335
GREIFSWALD (WEWA)	Dez	26	0	-80	29214
	Dez	19	12	-82	28909
LINDENBERG (OBS)	Dez	26	12	-80	29580

Tab. 2: Extreme Temperaturminima in der Stratosphäre nach Radiosondenmessungen 2015

Lufttemperatur

Monatsmittelwerte der Lufttemperatur

Abb. 3 zeigt die Abweichungen der mittleren Lufttemperatur bis 2015 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 im Mittel über 7 Radiosondenstationen in 500 hPa und in 50 hPa seit 1975. Betrachtet werden die vier Jahreszeiten.

Das Diagramm für den Frühling zeigt in der mittleren Troposphäre auch 2015 eine deutlich positive Temperaturabweichung gegenüber dem Referenzzeitraum, wohingegen in der Stratosphäre eine markante negative Temperaturabweichung zu beobachten war. Die positive Temperaturabweichung in 500 hPa war bedingt durch den Einfluss hohen Luftdrucks insbesondere im März und April. Der heiße Sommer 2015 spiegelt sich sehr gut in der 500-hPa-Kurve wider, während die Stratosphäre, wie schon in den letzten Jahren zu kalt blieb. Mit dem Herbst kamen auch wieder kühlere Luftmassen nach Deutschland, so zeigen sowohl Herbst- als auch Winterdiagramm eine abfallende 500-hPa-Kurve, die aber noch im positiven Bereich bleibt. Während sich in der Stratosphäre seit 2009 zu warme und zu kalte Winter in unregelmäßigen Abständen abwechselten, blieb die Stratosphäre in den letzten Jahren im Herbst durchgängig zu kalt.

Als Ergänzung zu diesen Betrachtungen zeigt Abb. 4 den Gang des vertikalen Temperaturgradienten 2015 für die Stationen Schleswig und Stuttgart. Sehr deutlich ist die Drängungszone der Linien mit gleichem Temperaturgradienten im Bereich der Tropopause zu erkennen, während in der sich anschließenden Stratosphäre Isothermie herrschte. Der Temperaturgradient in der Troposphäre zeigt an beiden Stationen keine Auffälligkeiten.

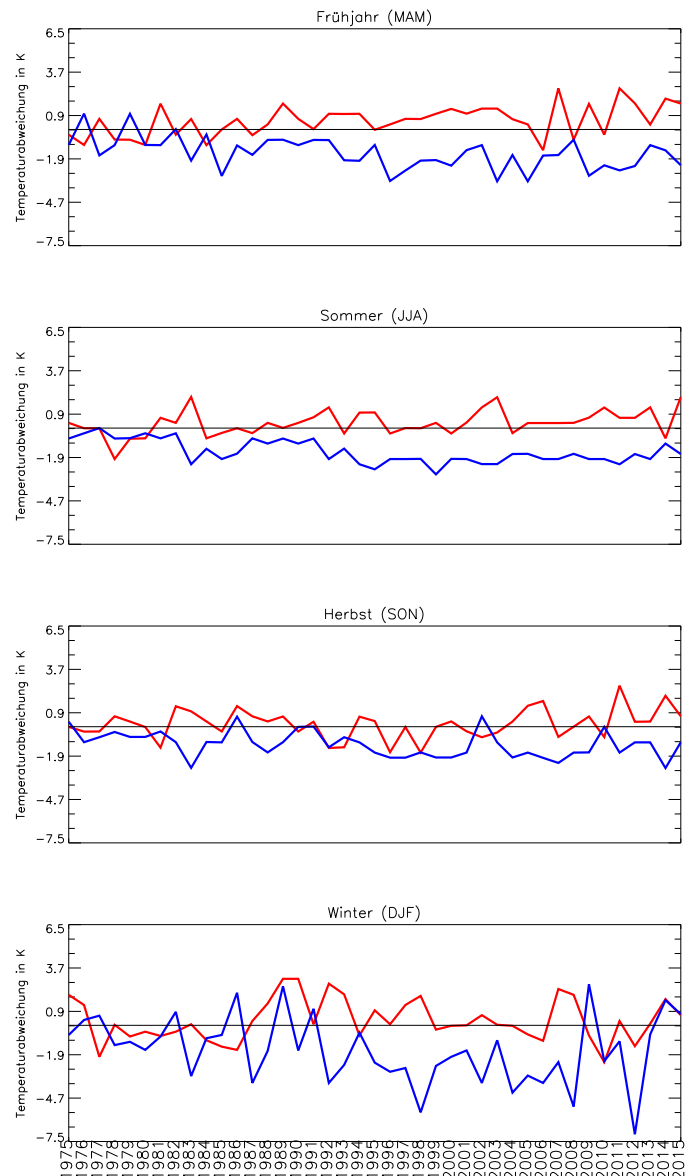
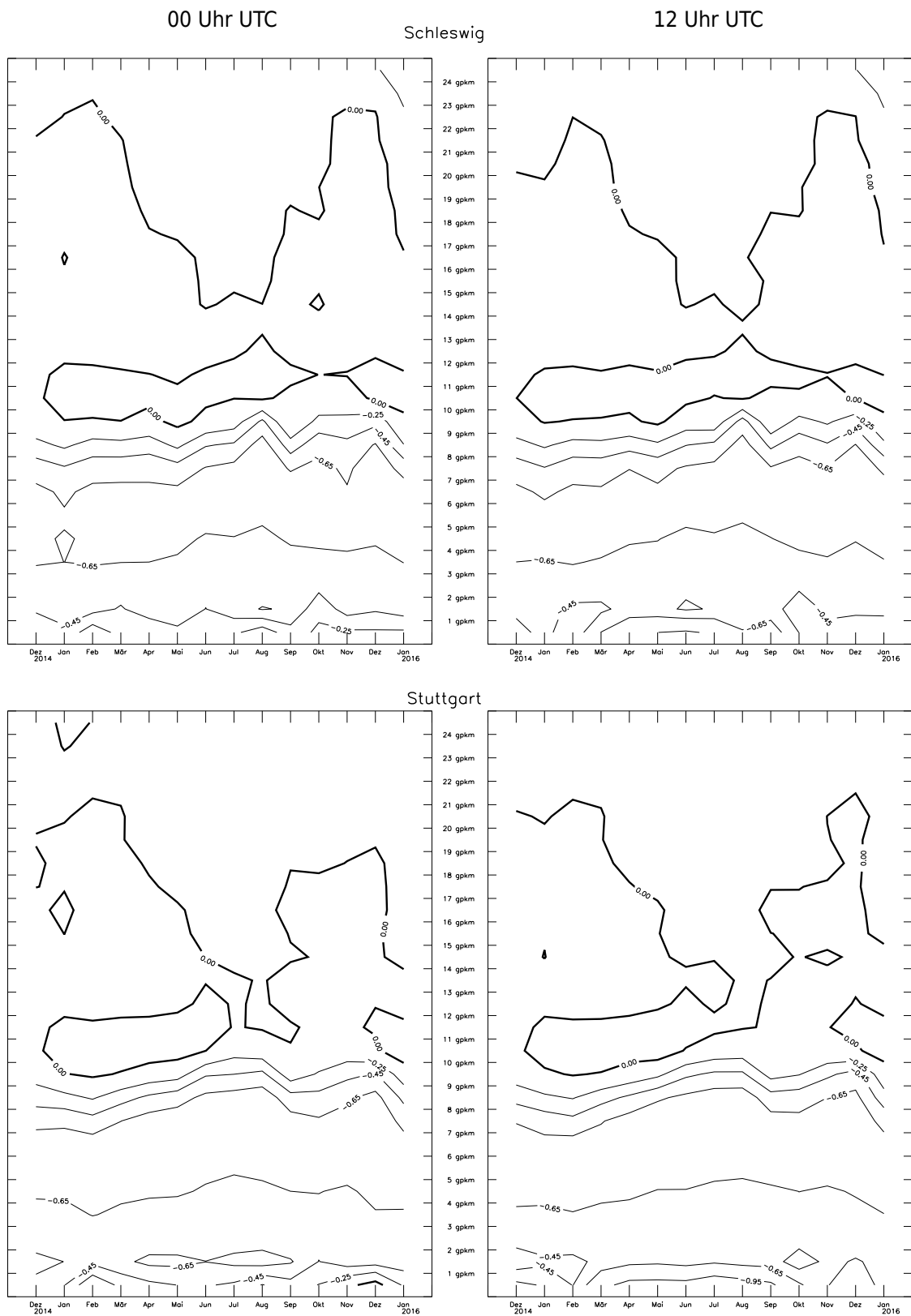


Abb. 3: Abweichungen der mittleren Lufttemperatur 2015 vom Referenzzeitraum 1961-1990 für die Jahreszeiten in 500 hPa (rot) und 50 hPa (blau) (Mittelwerte über 7 Stationen)

Jährlicher Gang des vertikalen Gradienten der Lufttemperatur nach monatlichen Mittelwerten



Negative Werte entsprechen einer Abnahme, positive Werte entsprechen einer Zunahme der Temperatur mit der Höhe (Angabe in K/100m)

Abb. 4: Jährlicher Gang des vertikalen Gradienten der Lufttemperatur, Schleswig und Stuttgart 2015

Ozon in der Stratosphäre

W. Steinbrecht, U. Köhler

Im Allgemeinen lagen die Gesamtozonsäulen im Jahr 2015 über Hohenpeißenberg und über Deutschland, aber auch weltweit (außerhalb der Polarregionen), im üblichen Rahmen der vergangenen Jahre. Das alljährliche antarktische Ozonloch im September / Oktober war 2015 allerdings ausgesprochen groß. Ansonsten wird das Jahr 2015 als bisher wärmstes Jahr bei der bodennahen Temperatur in die Geschichte eingehen. Bei der Gesamtozonsäule über Hohenpeißenberg war das Jahresmittel aber ganz „normal“. In Abb. 1, z.B., lag 2015 genau auf der roten Linie, der derzeit nach dem Chlorgehalt zu erwartenden Ozonsäulen.

Wie Abb. 2 zeigt, wurden am Hohenpeißenberg dennoch in den Monaten April und Mai niedrige Gesamtozonsäulen, im Juli und Dezember sogar sehr niedrige Gesamtozonsäulen gemessen. Bei letzteren hat die meteorologische Situation, vor allem der extrem warme Dezember 2015, eine Rolle gespielt. Bei den niedrigen Ozonsäulen im April und Mai dürfte auch polarer Ozonabbau im arktischen Frühjahr eine Rolle gespielt haben. Im Jahresmittel wurden die niedrigen Monate aber durch hohe Werte im ersten Quartal 2015 ausgeglichen.

Auch bei der Höhenverteilung des Ozons zeigt 2015 keine großen Auffälligkeiten (siehe Abb. 3). Am Boden und in der Troposphäre (5 km Höhe), aber auch in der mittleren und oberen Stratosphäre (20 und 40 km Höhe) lagen die Ozonwerte 2015 ziemlich genau im erwarteten Bereich (gestrichelte Linien). Die troposphärischen Werte stagnieren derzeit auf mittlerem Niveau. In der unteren Stratosphäre stabilisiert sich die beginnende Erholung der Ozonschicht. Auch in der oberen Stratosphäre setzt sich die Erholungstendenz fort. Dort fallen, wie erwartet, die Ozonzunahmen in höheren Breiten (Hohenpeißenberg) größer aus, als im globalen Mittel (blaue Linie in Abb. 3).

Fazit: 2015 war für die Ozonschicht über Mitteleuropa ein normales Jahr. Die langsame Erholung der Ozonschicht geht weiter. Trotzdem ist die Chlorbelastung der Stratosphäre noch sehr hoch. Je nach meteorologischen Rahmenbedingungen können deswegen nach wie vor Monate und Jahre mit sehr dünner Ozonschicht und mehr oder weniger große polare Ozonlöcher auftreten. Fortschreitende Klimaänderung und weitere Zunahme von Spurengasen wie CO₂, CH₄, und N₂O werden die Entwicklung der Ozonschicht ebenfalls beeinflussen.

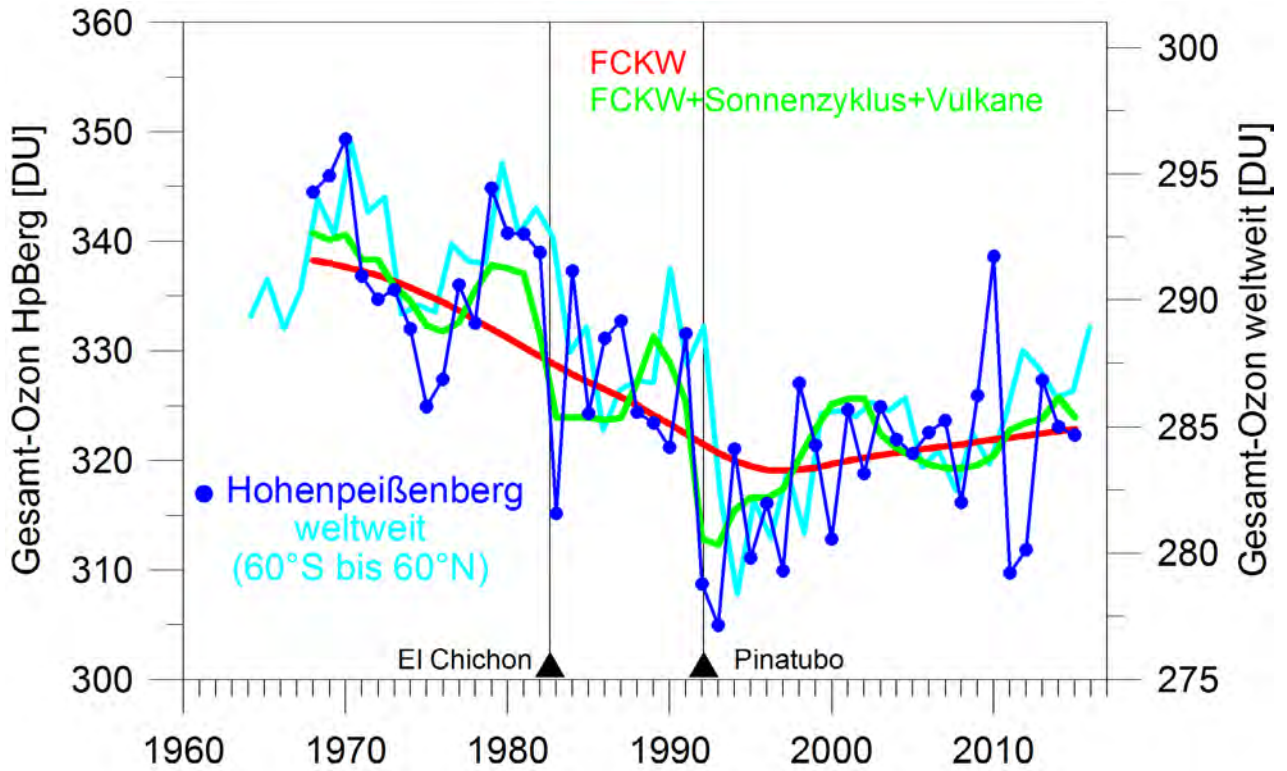


Abb.1: Jahresmittel der Gesamtozonsäule aus Messungen am Hohenpeißenberg (dunkelblau), sowie weltweiten Daten von Satelliten und Bodenstationen (hellblau, Wert für 2015 noch vorläufig). Die rote Linie zeigt den langfristigen Ozonabbau durch FCKWs, und die beginnende Erholung der Ozonschicht. Bei der grünen Linie sind zusätzlich noch Ozonschwankungen durch Vulkanaerosol und durch den 11-jährigen Zyklus der Sonnenaktivität dargestellt.

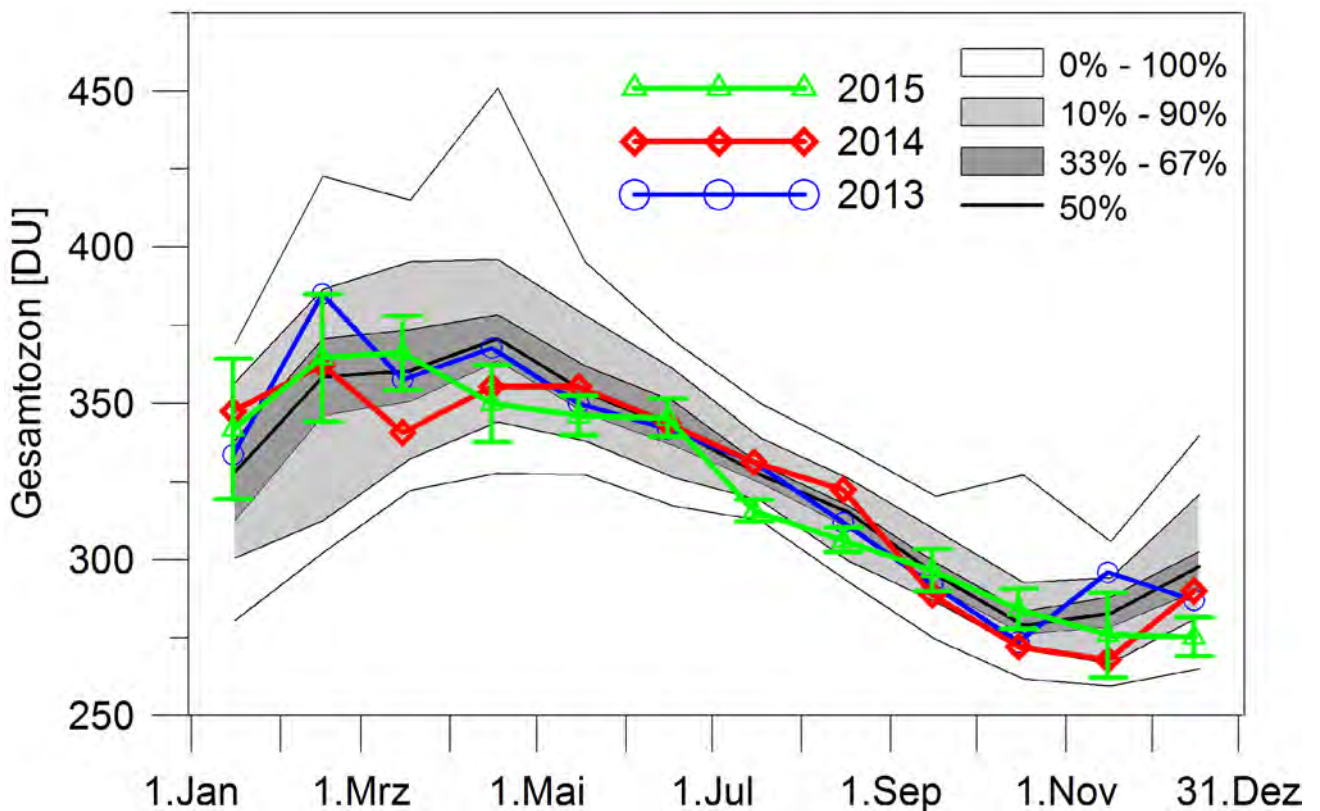


Abb. 2: Monatsmittel der Gesamtozonsäule am Hohenpeißenberg für die Jahre 2013 bis 2015. Die schattierten Bereiche geben die Perzentile der langjährigen Verteilung der Monatsmittel seit 1968 an.

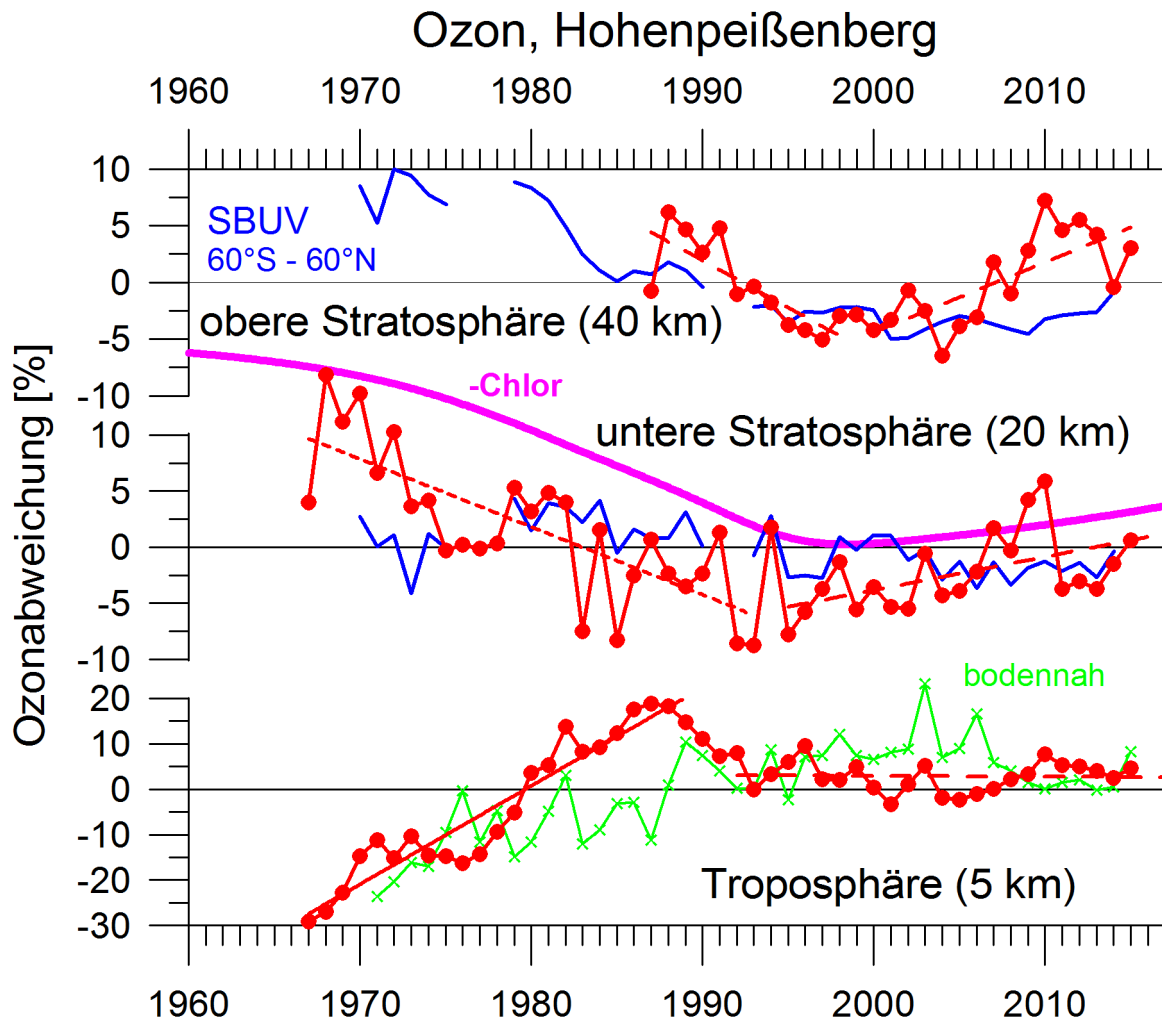


Abb. 3: Jahresmittel der Ozonwerte am Hohenpeißenberg für verschiedene Höhenschichten der Atmosphäre. Ergebnisse der Messungen am Hohenpeißenberg (rot und grün), sowie globale Entwicklung anhand von Satellitendaten (blaue Kurven). Die rosa Kurve stellt schematisch den Einfluss der Chlorbelastung der Stratosphäre dar. Der maximale Chlorgehalt wurde Ende der 1990er Jahre erreicht und damit auch die niedrigsten Ozonwerte.

Rückblick auf das Klima in Europa (WMO Region VI) im Jahr 2015

H. Mächel

Dieser Beitrag präsentiert einen Rückblick auf das Klima in Europa und behandelt die Monate des Jahres 2015 und die Jahreszeiten Winter 2014/2015, Frühjahr, Sommer und Herbst 2015. Der Dezember 2015 wird mit dem Winter 2015/2016 im Klimastatusbericht 2016 behandelt. Monatliche Rückblicke in englischer Sprache sind unter <http://rcccm.dwd.de/> zu finden. Anomalien beziehen sich grundsätzlich auf die von der WMO definierte Normalperiode 1961-1990, sofern es nicht anders angegeben ist.

Fast jeder Monat war in Europa überdurchschnittlich warm. Unterdurchschnittliche Temperatur verzeichneten: Skandinavien von Mai bis Juli; Zentraleuropa im September und Oktober und Südwesteuropa nur im Februar und September.

Lufttemperatur

Im Jahresmittel (Abb. 2) war 2015 in ganz Europa wärmer als normal, in Ost- und Nordeuropa sogar mehr als $+2^{\circ}\text{C}$ über der Referenzperiode von 1961-1990. Nach der Auswertung der E-OBS Daten (vom Königlich-Niederländischen Meteorologischen Institut, kurz KNMI) war 2015 gefolgt von 2014 das wärmste Jahr in Europa seit dem Beginn der Zeitreihe im Jahr 1950 (Abb. 1). Die genaue Rangfolge ist wegen der Unsicherheiten, die die grauen Balken angeben, nicht exakt feststellbar. Besonders markant war die positive Anomalie in der Arktis mit mehr als $+3^{\circ}\text{C}$ (auf Spitzbergen, sogar $+4.7^{\circ}\text{C}$). Das Jahr 2015 war auch global gesehen bisher das wärmste seit 1880, wozu auch das starke El Niño in 2015/16 beigetragen hat (WMO 2016, Blunden und Arndt 2016).

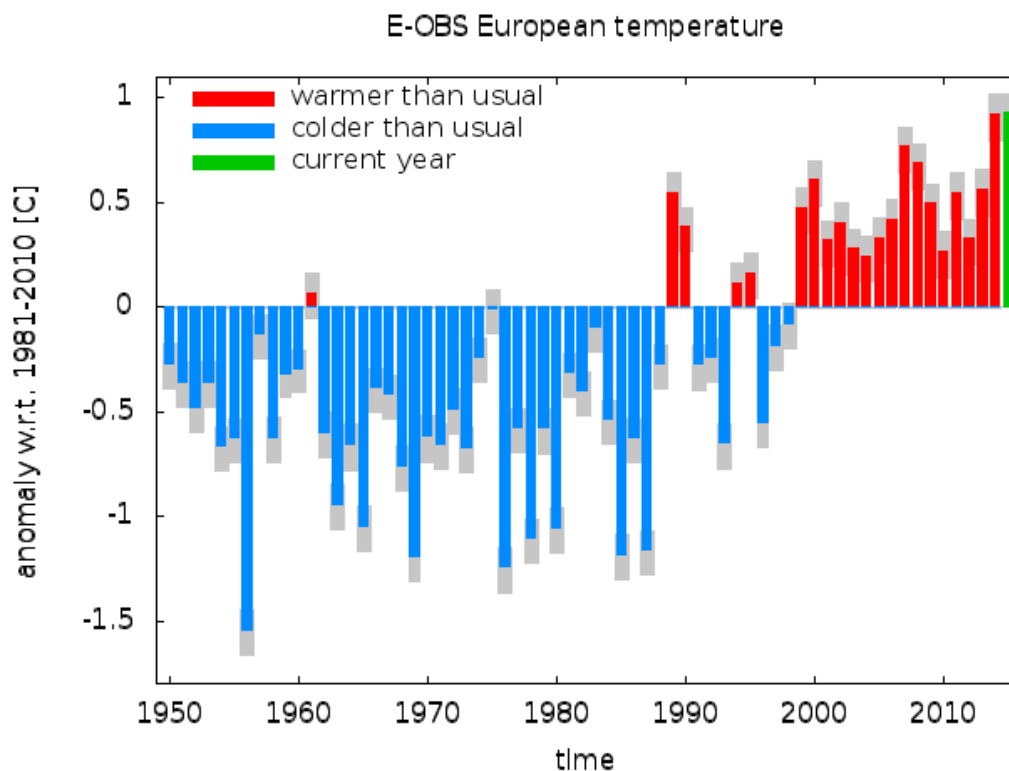


Abb. 1: Abweichungen der Jahresmitteltemperatur der Periode 1950-2015 (2 m) vom vieljährigen Mittel 1981-2010 in $^{\circ}\text{C}$ für die Landstationen im Gebiet $35^{\circ}\text{-}75^{\circ}\text{N}$ und $25^{\circ}\text{W-}45^{\circ}\text{E}$ (nach Verwer et. al. 2013)

Hohe Abweichungen wurden 2015 in Osteuropa beobachtet mit Werten von $+2.3^{\circ}\text{C}$ gefolgt von Zentral- und Westeuropa ($+1.6^{\circ}\text{C}$), Nahem Osten ($+1.5^{\circ}\text{C}$), dem Mittelmeerraum ($+1.5^{\circ}\text{C}$) und der Iberische Halbinsel ($+1.4^{\circ}\text{C}$). Schlusslicht war der Norden (mit Grönland) mit Anomalien von $+1.3^{\circ}\text{C}$.

Die globale Jahrestemperatur stieg 2015 auf ein Rekordniveau von $0.76 \pm 0.09^{\circ}\text{C}$ über der Normalperiode von 1961-1990 (WMO 2016, Blunden und Arndt 2016).

Die Temperaturanomalien im **Winter 2014/15** (Abb. 3, rechts oben) lagen nur in Südwesteuropa unter dem langjährigen Mittel. In Nord- und Osteuropa erreichen die positiven Anomalien Werte von über $+4^{\circ}\text{C}$ vor allem in Skandinavien, Nordrussland und in einem Gebiet zwischen der Türkei und Armenien.

Im **Frühjahr 2015** (Abb. 3, rechts Mitte oben) waren die meisten Teile Europas über $+1^{\circ}\text{C}$ wärmer als die Referenzperiode 1961-1990. Vor allem Spanien und Südfrankreich zeigten Anomalien über $+2^{\circ}\text{C}$, das nördliche Skandinavien über $+3^{\circ}\text{C}$ und Nordrussland sogar über $+4^{\circ}\text{C}$. Nur die zentrale Türkei, Irland, Grönland und Westisland wiesen unterdurchschnittliche Temperaturen auf.

Der **Sommer 2015** (Abb. 3, rechts Mitte unten) war durch eine lang andauernde Hitzewelle charakterisiert, die von Ende Mai bis Anfang August dauerte. Temperaturabweichungen von über $+3^{\circ}\text{C}$ traten in einer Zone von Spanien bis zur Ukraine auf, während Nordeuropa und die Britischen Inseln von negativen Temperaturabweichungen berichteten.

Herbst 2015 (Abb. 3, rechts unten) war wieder in fast ganz Europa wärmer als normal. Besonders der Norden (Spitzbergen und die russische Arktisküste) beobachtete Temperaturabweichungen von über $+4^{\circ}\text{C}$. Skandinavien, vor allem Finnland, und der Südosten der RA VI zeigten um $+3^{\circ}\text{C}$ höhere Temperaturen als die Referenzperiode von 1961-1990.

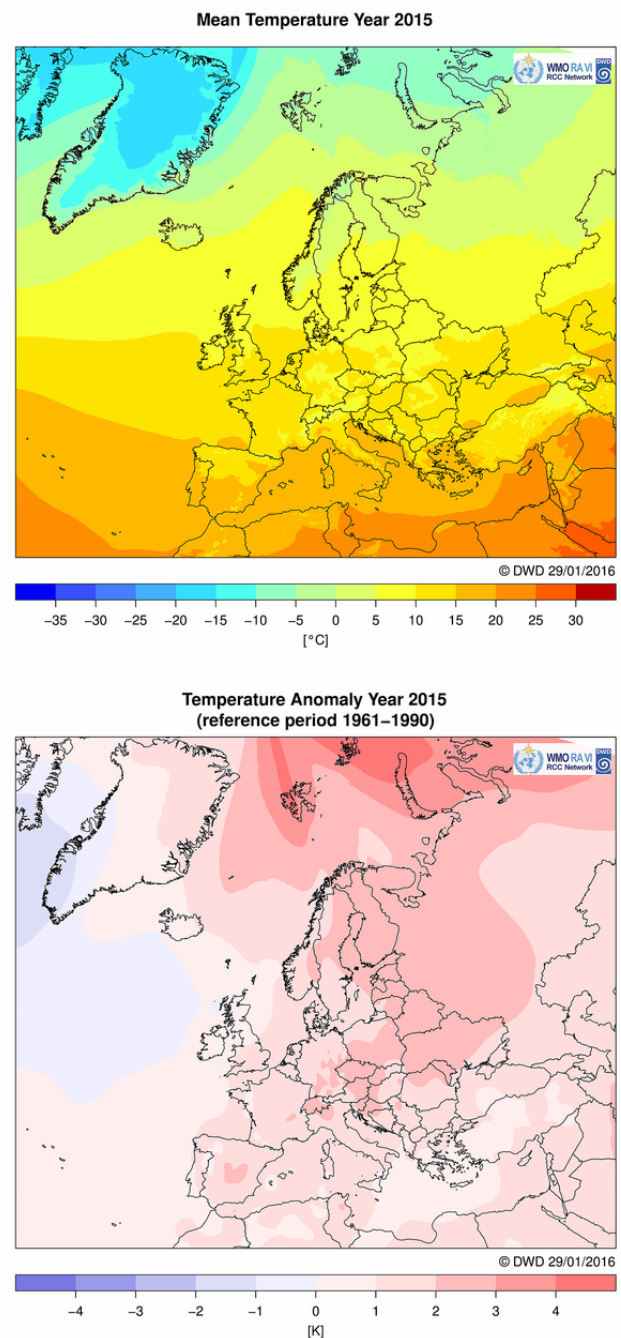


Abb. 2: Jahresmittel der Lufttemperatur (oben, in $^{\circ}\text{C}$) und deren Abweichung (in K) vom langjährigen Mittel 1961-1990 für das Jahr 2015

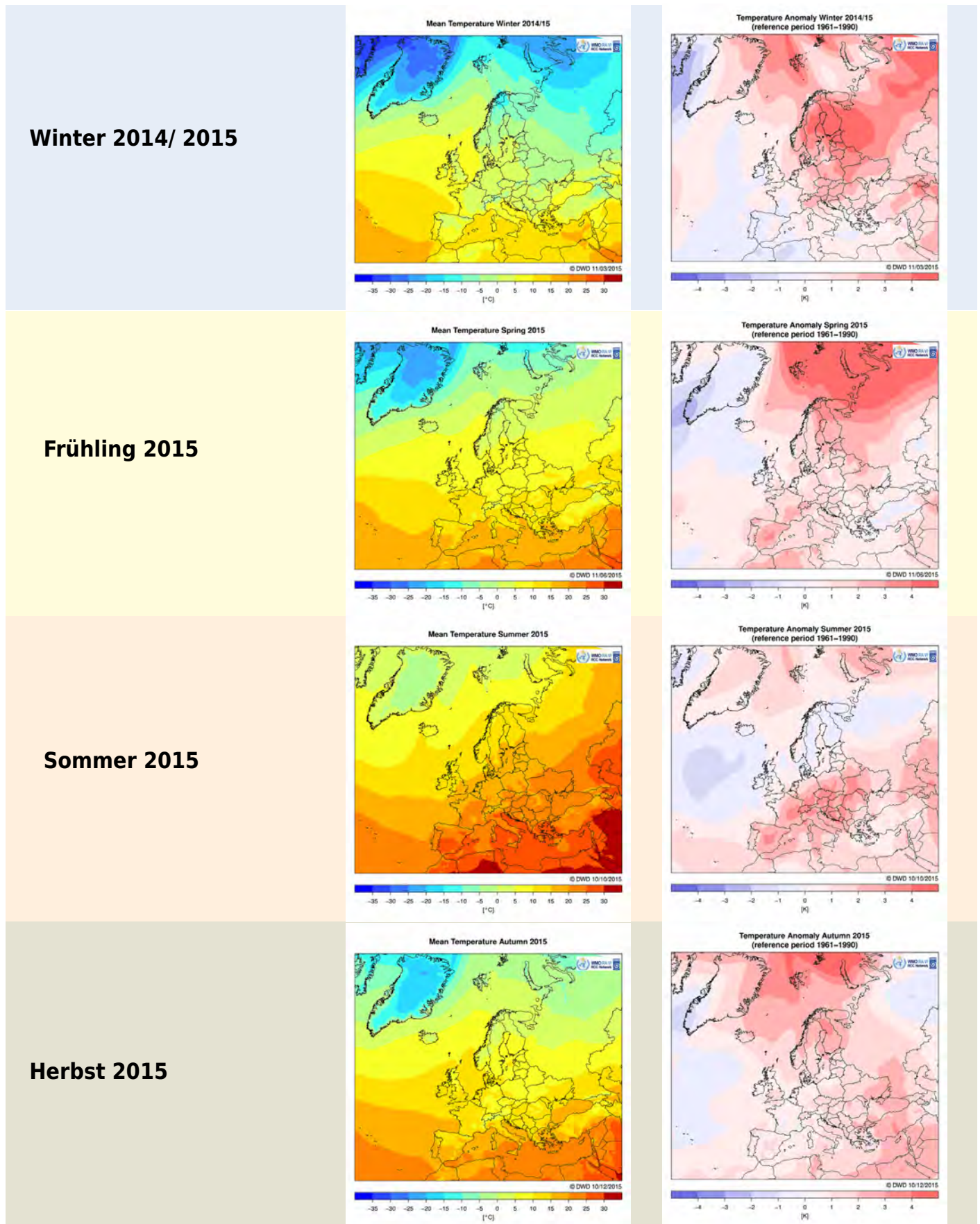


Abb. 3: Mittlere Lufttemperatur (in 2 m Höhe) in °C im Winter 2014/2015, Frühjahr 2015, Sommer 2015 und Herbst 2015 (linke Spalte) und die dazugehörigen mittlere Anomalie der Lufttemperatur (in 2 m Höhe) in K (rechte Spalte; Quelle: <http://www.dwd.de/rcc-cm>)

Niederschlag

Der Jahresniederschlag erreichte in vielen Teilen Europas fast das Normalniveau von 1951-2000 (Abb. 4, rechts oben). Positive Anomalien von über 10 mm/Monat zeigten Irland, Großbritannien, Dänemark, Teile Skandinaviens und Südosteuropa. Trockener als normal mit Anomalien unter -10 mm/Monat waren dagegen die Iberische Halbinsel, Frankreich, der Alpenraum und Osteuropa. In diesen Gebieten sank die Niederschlagsmenge unter den 0.1-Perzentilwert, was auf Dürre hinweist. Die Karten der Jahreswerte (Abb. 4, links oben) geben nur unzureichend wieder, wo im Jahr 2015 außergewöhnliche Niederschlagsereignisse auftraten.

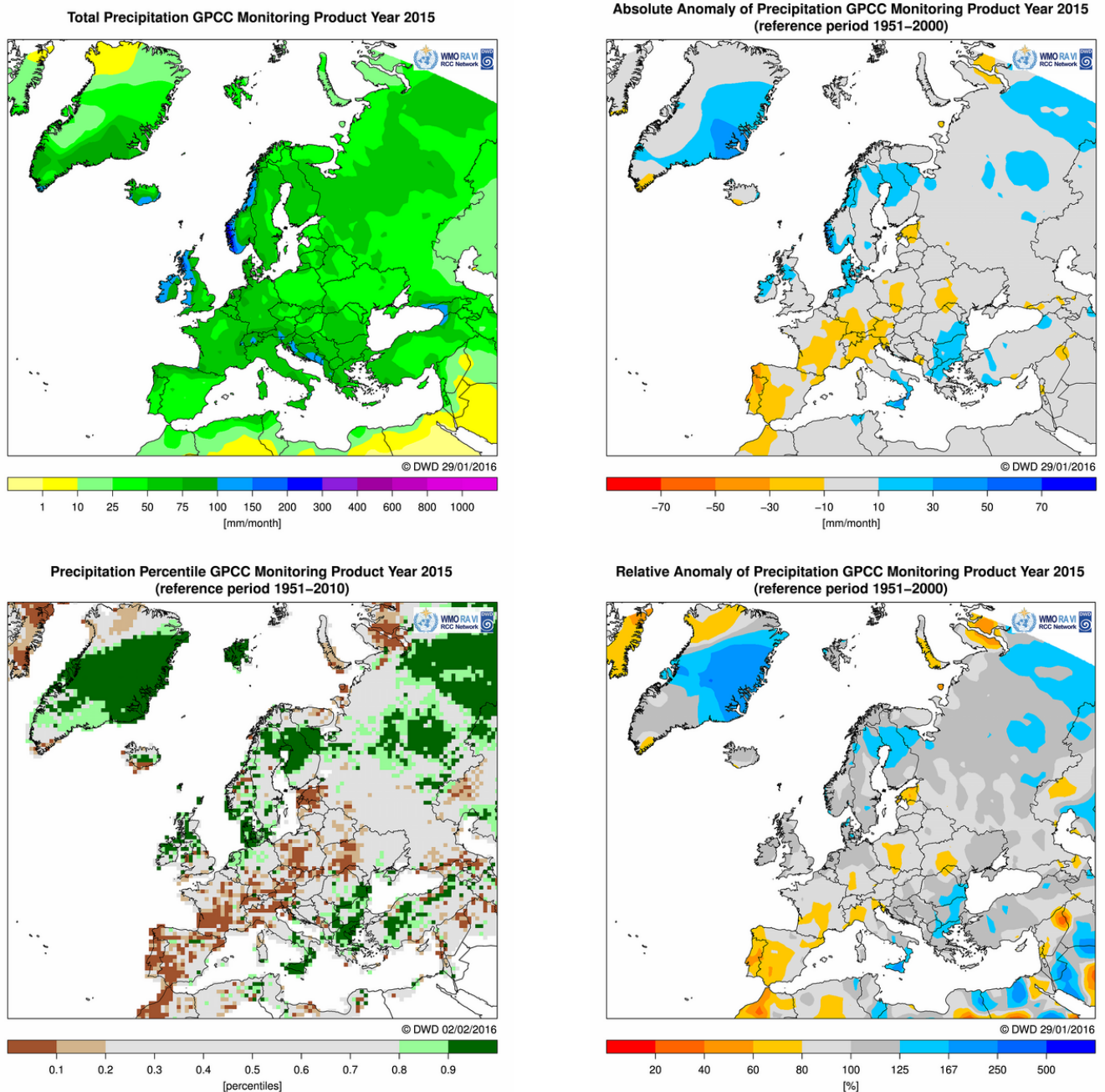


Abb. 4: Jahresniederschlagssumme (links oben), absolute Anomalien (rechts oben) in mm/Monat, Perzentile (links unten) und relative Anomalien in % (rechts unten) für das Jahr 2015 (Anomalien: Referenzperiode 1951-2000, Perzentile: Referenzperiode 1951-2010; Quelle: <http://www.dwd.de/rcc-cm>)

Der **Winter 2014/15** (Abb. 5, oben) erwies sich in einigen Teilen Europas als zu trocken und zwar von Portugal und Südspanien über Mitteleuropa bis zur Ukraine, in den übrigen Teilen dagegen als zu nass. In Nordspanien, Schottland, Südnorwegen, dem Balkan und dem östlichen Mittelmeerraum gab es Stationen, die bis zu 250 % der normalen Niederschlagsmenge registrierten. In Irland variierte die winterliche Niederschlagssumme zwischen der Höchstmenge von 702 mm (148 % des Mittels) an der Station Newport und der niedrigsten Summe von 150 mm (68 %) an der Station Carlow (Oak Park). In Kroatien schwankte die Niederschlagssumme für den Winter 2014/2015 von 71 % bis 225 % des langjährigen Mittels. In Montenegro gab es auch erhebliche Schwankungen von 196 mm an der Station Rozaje bis zu 1522 mm in Cetinje. Auch in Norwegen zeigte sich der Winterniederschlag als sehr variabel von 25 % im Osten (im Lee) bis über 300 % im Südwesten. Die höchste jahreszeitliche Niederschlagsmenge in Norwegen wurde mit 1846 mm an der Station Hovlandsdal (Norwegen) gemessen, mit 147.5 mm als höchstem Tagesniederschlag am 19. Februar 2015. Die starken Niederschläge entlang der Pyrenäen mit bis zu 300 % resultierten aus den vorherrschenden nord- bis nordwestlichen Winden über der Biskaya.

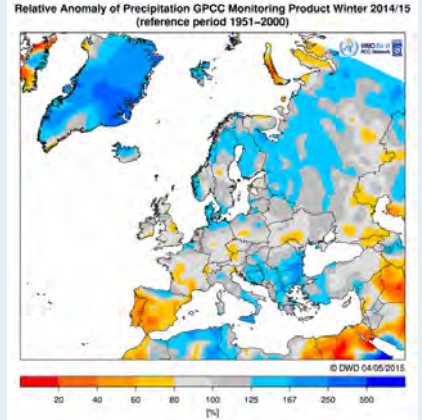
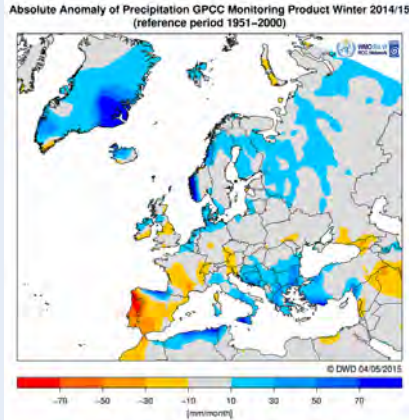
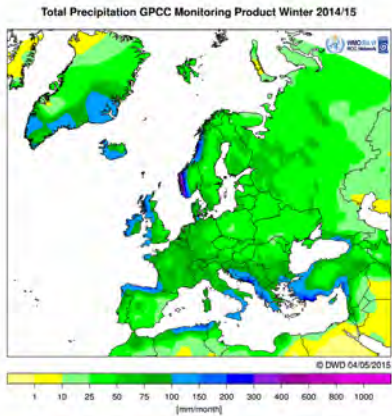
Die Niederschlagsanomalien für das **Frühjahr 2015** (Abb. 5, Mitte oben) zeigten überdurchschnittliche Werte in Nord- und Nordwesteuropa sowie Teilen Osteuropas. In Skandinavien und der Ukraine wurden stellenweise über 150 % des langjährigen Mittels erreicht. Für gesamt Norwegen bezifferte sich der relative Niederschlag auf 130 %, in Teilen Westnorwegens erreichten sie das 2-2.5-fache des Normalwertes. Die regenreichste Station war Hovlandsdal (Fjaler, Sogn og Fjordane) mit 1150 mm (209 %). Hier fiel am 8. März auch die höchste Tagessumme für das Frühjahr mit 123.8 mm. Im Vereinigten Königreich war der Nordwesten mit mehr als 130 % oder 900 mm (Jahreszeitensumme) im westlichen Hochland deutlich nasser als normal. Somit ergab sich für Schottland der 2. Rang in der Reihe der nassesten Frühjahre seit 1910. In Südengland dagegen war es im Frühjahr mit 90 mm oder 70 % deutlich trockener. Trockener als normal war es in West- und Zentraleuropa von der Iberischen Halbinsel bis nach Polen. Im Nordwesten Spaniens und Nordportugal wurden weniger als 60 % des normalen Niederschlags gemessen. Auch der Nahe Osten war trockener als sonst.

Der **Sommer 2015** (Abb. 5, Mitte unten) zeigte sich in West-, Nord- und Osteuropa regnerisch. Trotz der Hitzewelle während des Sommers gab es in West- und Südfrankreich sowie im Nordosten Spaniens mehr Regen als normal. Grund dafür waren extreme Niederschlagsereignisse. Frankreich verzeichnete neue Rekorde der Monatssummen im August an der Station Gonnevillle (Bretagne) mit 178.4 mm (das 3-fache des Normalen) und in Montpellier mit 234.2 mm (fast das 7-fache der norma-

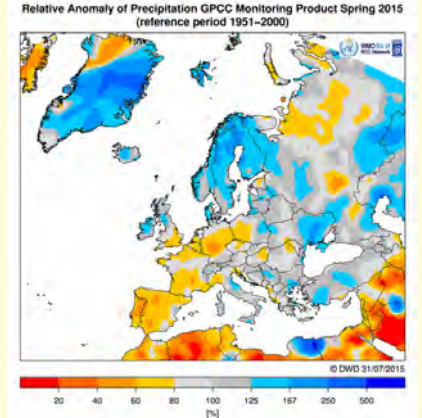
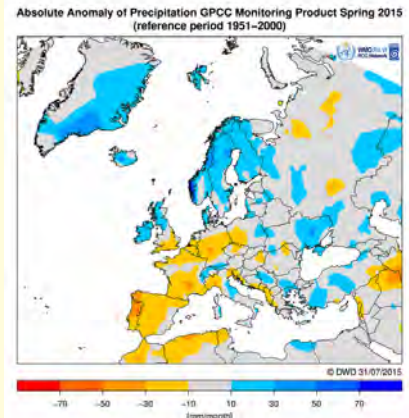
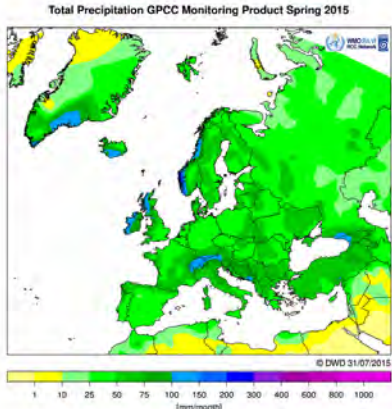
len Menge). Der Niederschlagsüberschuss in der Türkei betrug über 250 %. Die Hitzewellen und der Hochdruckeinfluss machten sich bei den fehlenden Niederschlägen in Zentraleuropa bemerkbar. Die westliche und südliche Iberische Halbinsel hatten schon seit Anfang des Jahres ein Niederschlagsdefizit. Die in Portugal von schwerer und extremer Trockenheit betroffene Landesfläche betrug am 31. August 74 %; das war die zweitschlimmste Dürre seit 70 Jahren (100 % im Jahr 2005 und 73 % im Jahr 2012). In Warschau regnete es während des Sommers nur die Hälfte der Normalmenge (172 mm). In Belgrad waren es nur 47 mm oder 30 % des Normalen. Die geringen Niederschläge in der Ukraine ließen die Pegelstände der Flüsse sinken wodurch auch viele Fische verendeten. In Deutschland war es der trockenste Sommer seit 50 Jahren.

Im **Herbst 2015** (Abb. 5, unten) regnete es überdurchschnittlich in Norddeutschland, Dänemark, Teilen Finnlands, Griechenland sowie West-, Nord- und Osttürkei. Auf dem Balkan wurden über 150 % (30 mm/Monat) des langjährigen Mittels verzeichnet. Im Norden Finnlands besonders in Lappland war es mit über 200 mm nasser, in Südfinnland dagegen trockener als normal. Große Teile Westeuropas, Islands, die Baltischen Staaten und Teile Skandinaviens waren trockener als normal. Die Summe der Niederschläge in den Herbstmonaten betrug in Spanien 165 mm oder 18 % unter dem Durchschnitt. Der Oktober brachte in Estland 11 mm Niederschlag (Normalwert=74 mm) wodurch auch der Herbst mit 138 mm (Normalwert=200 mm) trockener ausfiel. Auf den Britischen Inseln waren der September und der Oktober sehr mild und trocken mit jeweils 56 % und 57 %, während der November mit 145 % feuchter als normal war. Der Herbst 2015 war in Rumänien sehr regnerisch wobei an der Station Balea Lac im September 221 mm/Monat gemessen wurden. Griechenland verzeichnete ebenfalls überdurchschnittliche Niederschläge mit bis zu 272 % an der Station Serres.

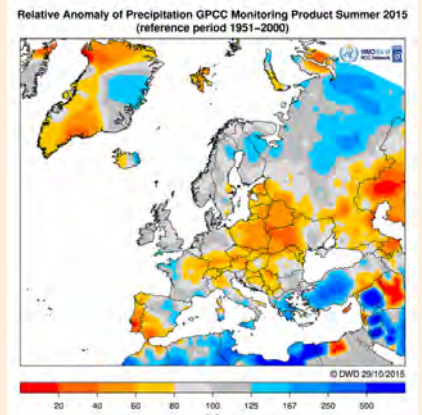
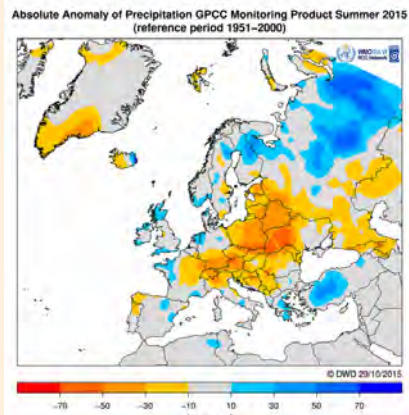
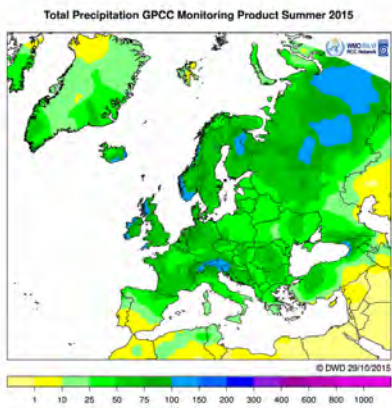
Winter 2014/ 2015



Frühling 2015



Sommer 2015



Herbst 2015

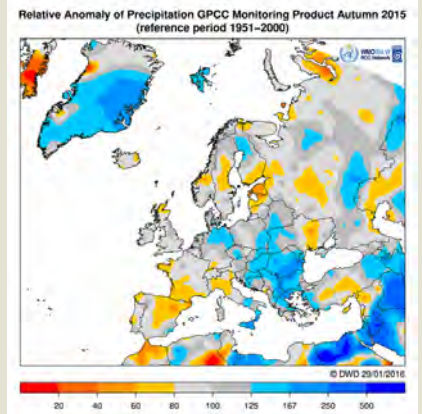
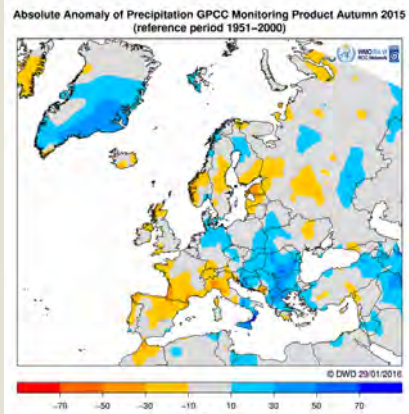
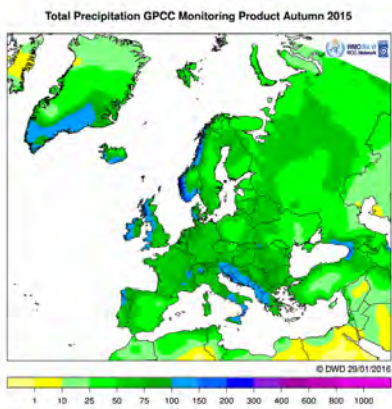


Abb. 5: Niederschlagshöhe in mm/Monat (links), absolute Abweichung in mm/Monat (Mitte) und relative Abweichung in % (rechts) vom langjährigen Mittel 1951-2000 für die Jahreszeiten Winter 2014/2015, Frühling 2015, Sommer 2015, Herbst 2015
Die hohen Abweichungen über Grönland sind Datenfehler.

Luftdruck und Zirkulation

Die jährliche Verteilung des Bodendrucks im Jahre 2015 in der WMO Region VI wurde von einem Tiefdruckgebiet bestimmt, das sich von Grönland über Island bis nach Spitzbergen erstreckte. Das zweite Drucksystem mit dem Kern über den Azoren (Azorenhoch) erstreckte sich über Mitteleuropa bis nach Russland. Die Abweichungen vom langjährigen Mittel zeigen westlich und nordöstlich von Island um -6 bis -4 hPa niedrigere Werte und zwischen den Azoren und Mitteleuropa um +2 bis +4 hPa höhere Werte und damit ein stärkeres Gefälle zwischen Azorenhoch und Islandtief (Abb. 6).

Im **Winter 2014/2015** (Abb. 7, oben) zeigten die Abweichungen vom langjährigen Mittel 1961-1990 ein ähnliches Muster wie das Wintermittel der Luftdruckverteilung. Der Kerndruck des Islandtiefs lag unter 995 hPa und der des Azorenhochs über 1030 hPa. Die größten Anomalien des Islandtiefs lagen zwischen Island und Skandinavien bei unter -10 hPa und die des Azorenhochs bei über +12 hPa. Beide Druckzentren waren intensiver und somit die Druckdifferenz zwischen Island und Azoren höher als normal. Dies bezeugen auch mehrer Stürme über Nordeuropa. Dementsprechend war auch der Index der Nord Atlantik Oszillation (NAO) in allen Wintermonaten größer als 1. Die negative Anomalie in Osteuropa und dem östlichen Mittelmeer war auch mit Tiefdruckgebieten verbunden.

Im **Frühjahr 2015** (Abb. 7, Mitte oben) waren beide Zirkulationszentren stark ausgeprägt. Das Islandtief, mit einem Kerndruck von 1000 hPa, lag westlich von Island. Die negativen Anomalien umfassten ganz Nordeuropa und erreichten minimale Werte von unter -8 hPa zwischen Island und Grönland, auf Grönland und zwischen Grönland und Spitzbergen. Der Kern des Azorenhochs befand sich südwestlich der Azoren mit höchsten Anomalien über Frankreich von +4 hPa. Die NAO war im Frühjahr nur leicht positiv. Die Arktische Oszillation war mit 1.27 etwas deutlicher ausgeprägt.

Im **Sommer 2015** (Abb. 7, Mitte unten) lagen beide Zirkulationszentren nach Süden verschoben wodurch sich über Grönland ein Hochdruckgebiet mit maximalen Anomalien von über +8 hPa ausbreiten konnte. Im Jahreszeitenmittel herrschten über fast ganz Europa positive Druckabweichungen von über +2 hPa vor, die zu vermehrtem Absinken und geringerer Bewölkung führten. Der NAO Index mit einem Wert von -3.14 für den Juli 2015 war besonders extrem. Ein identischer Wert kam in der 66 Jahre langen Indexreihe nur noch einmal 1993 vor.

Das Zirkulationsmuster im **Herbst 2015** (Abb. 7, unten) wurde von einem weit nach Nordosten reichenden Azorenhoch und einem intensiveren Islandtief geprägt. Der Kerndruck des Islandtiefs lag mit weniger als 1000 hPa um -6 hPa unter dem langjährigen Mittel. Die positiven Anomalien über Skandinavien erreichten über +2 hPa und über Nordrussland über +4 hPa. Die Zirkulationsindizes im Herbst 2015 lagen bei ± 1 , da die einzelnen Monatswerte unterschiedliche Vorzeichen aufwiesen.

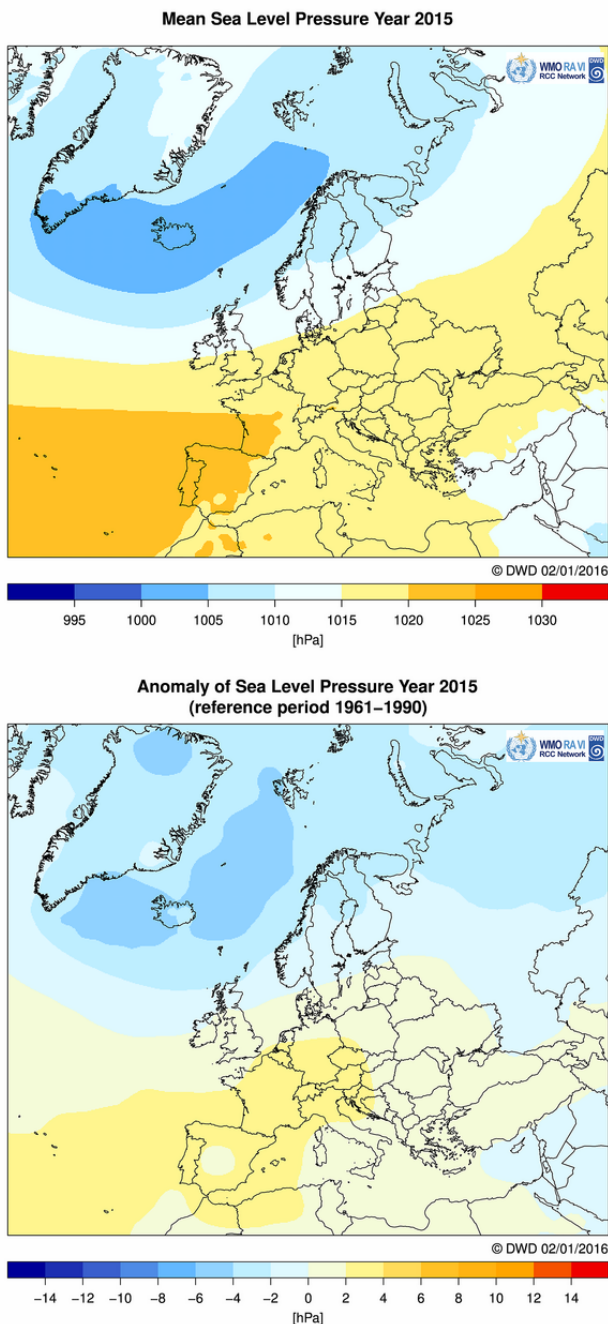


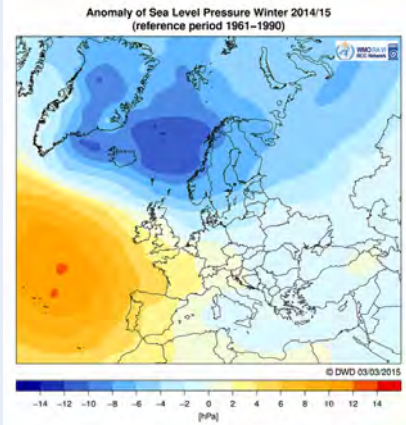
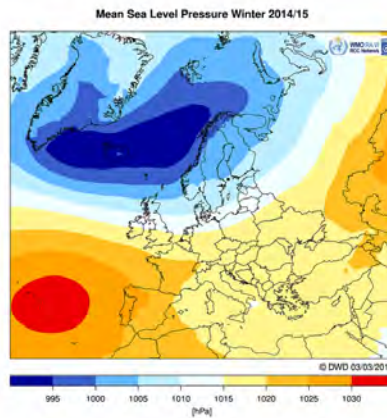
Abb. 6: Jahresmittel des Bodendrucks (oben) und deren Abweichung in hPa (unten) vom vieljährigen Mittel 1961-1990 für das Jahr 2015

Jahr	Monat	NOA	EA	EA/WR	SCA	POL	AO
2015	1	1,57	1,11	-0,24	-0,18	-0,03	1,092
2015	2	1,05	-0,04	-0,92	-0,37	2,09	1,043
2015	3	1,12	1,20	0,27	0,39	0,68	1,837
2015	4	0,64	0,88	1,12	-1,49	-0,88	1,216
2015	5	0,19	0,71	-1,50	-2,15	0,50	0,763
2015	6	0,24	1,06	-0,78	-1,52	-0,20	0,427
2015	7	-3,14	0,22	2,01	-1,11	0,39	-1,108
2015	8	-1,10	1,08	-0,37	0,87	0,13	-0,689
2015	9	-0,49	0,15	-1,67	1,09	-0,13	-0,165
2015	10	0,99	0,22	0,59	0,62	-0,47	-0,250
2015	11	1,70	1,55	0,56	-0,40	-0,66	1,945
2015	12	1,99	3,14	1,28	0,08	0,58	1,444

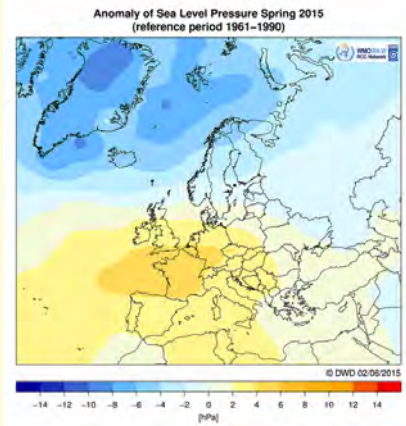
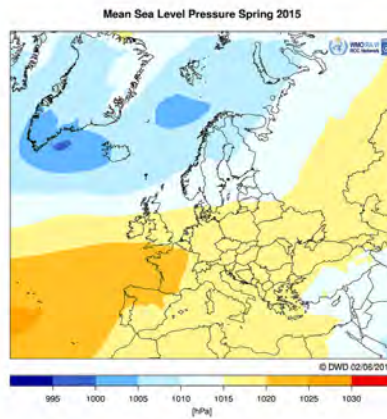
Tab. 1: Jahresgänge der für Europa relevanten standardisierten Zirkulationsindizes der Nordhemisphäre von Januar bis Dezember 2015

Anmerkung: Alle Werte sind bezüglich des Zeitraums 1981-2010 standardisiert. (Nordatlantik Oszillation (NOA), Ostatlantik Muster (EA), Ostatlantik/Westrussland Muster (EA/WR), Skandinavien Muster (SCA), Polar/Eurasien Muster (POL), Arktische Oszillation (AO); nach Daten des NOAA Climate Prediction Center, weitere Erklärungen sind bei <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml> und <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/> zu finden).

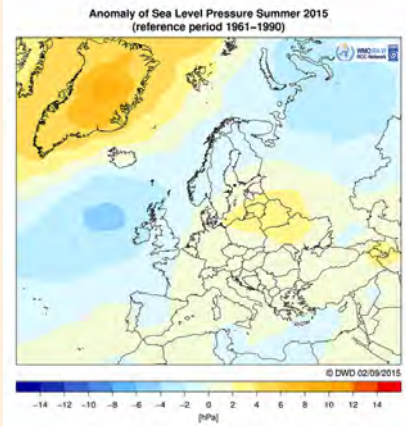
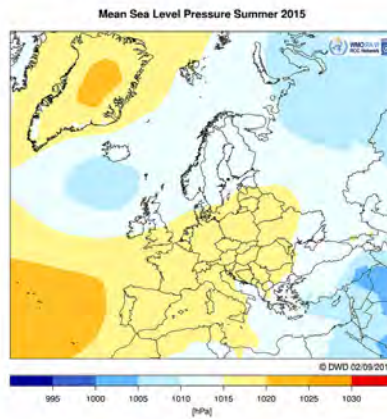
Winter 2014/ 2015



Frühling 2015



Sommer 2015



Herbst 2015

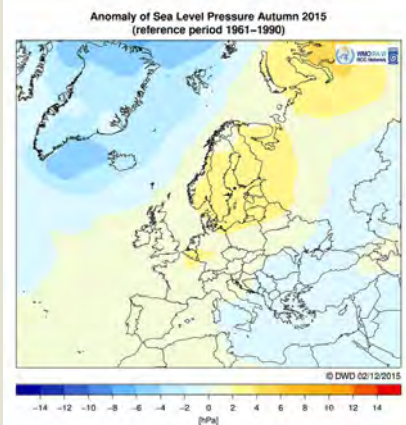
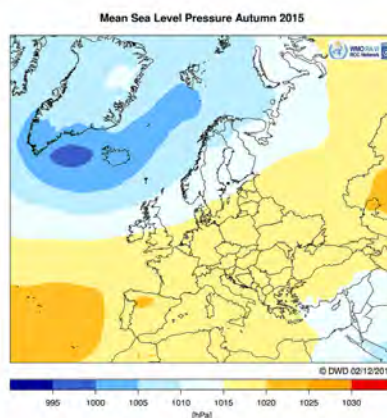


Abb. 7: Mittelwerte des Luftdrucks auf Meeresebene in hPa (links) und deren Anomalien (rechts) vom langjährigen Mittel 1961-1990 für die Jahreszeiten Winter 2014/2015, Frühling 2015, Sommer 2015 und Herbst 2015

Sonnenscheindauer und Bewölkung

Die jährliche Sonnenscheindauer (Abb. 8) zeigte von Süd nach Nord abnehmende Werte. Die meisten Teile Europas wiesen positive Abweichungen der Sonnenscheindauer auf. Nur Portugal, Süditalien, die Türkei und Nordosteuropa zeichneten sich durch unterdurchschnittliche Werte der Sonnenscheindauer aus. Spitzbergen, Polen und der südliche Teil des europäischen Russlands wiesen in fast jeder Jahreszeit höhere Anomalien auf.

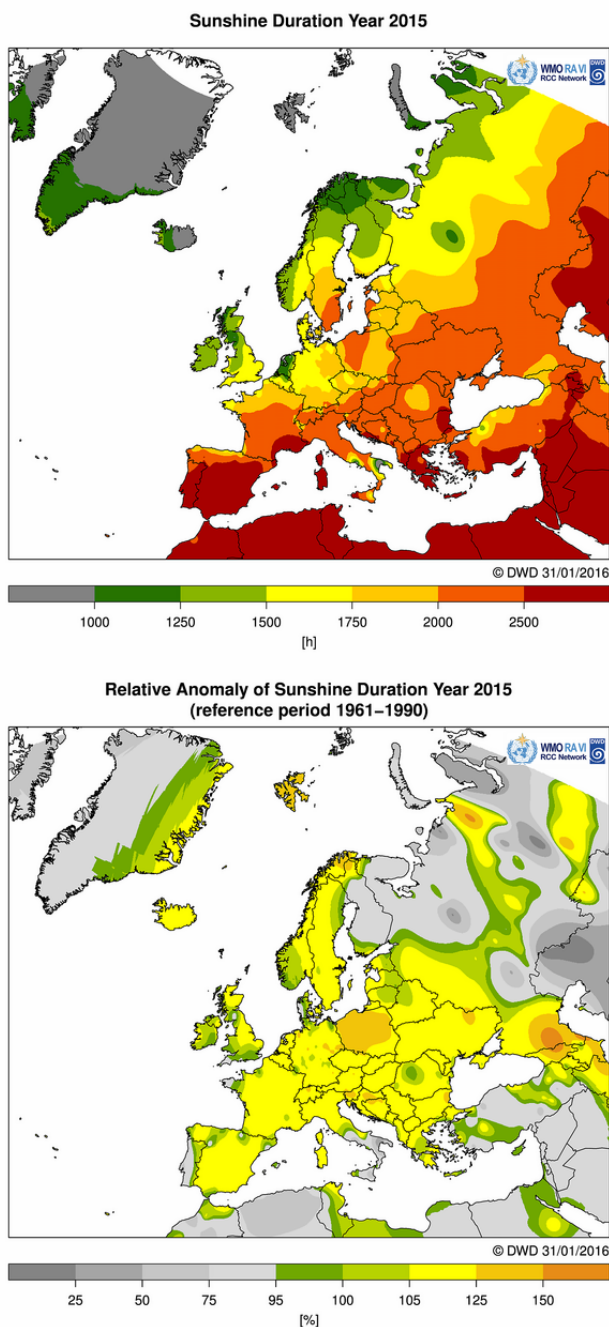


Abb. 8: Jahressumme der Sonnenscheindauer in Stunden (oben) und deren relative Anomalien in % (unten) zum vieljährigen Mittel 1961-1990 für das Jahr 2015. (Quelle: <http://www.dwd.de/rcc-cm>)

In vielen Teilen Europas lag die relative Sonnenscheindauer im **Winter 2014/2015** (Abb. 9, oben) unter 100 %. Nur in Spanien, auf den Britischen Inseln und dem Balkan sowie in kleineren Gebieten schien die Sonne häufiger als im Durchschnitt, was sich auch in der überdurchschnittlichen Zahl an heiteren Tagen (Abb. 11, oben) bzw. der unterdurchschnittlichen Zahl an trüben Tagen (Abb. 10, oben) widerspiegelt. Die hohen relativen Abweichungen im Norden Europas sind der Berechnungsmethode geschuldet, da während der Polarnacht die Sonne kaum sichtbar ist.

Das **Frühjahr 2015** (Abb. 9, Mitte oben) zeichnete sich in fast ganz Europa durch überdurchschnittliche relative Sonnenscheindauer und einer höheren Anzahl heiterer Tage aus. Nur Nordskandinavien, das Baltikum, die Türkei und Teile des europäischen Russlands wiesen geringere als die normale Sonnenscheindauer aus.

Vermehrtes Absinken führte im **Sommer 2015** (Abb. 9, Mitte unten) zu mehreren Hitzewellen in Europa als Folge der vermehrten Sonneneinstrahlung und geringeren Bewölkung. Vor allem Osteuropa zeichnete sich durch weniger bewölkte Tage aus. Dies führte in Polen, in der Ukraine und Weißrussland zu geringeren Niederschlägen und langandauernder Dürre.

Auch der **Herbst 2015** (Abb. 9, unten) verzeichnete in vielen Teilen Europas überdurchschnittliche Sonnenscheindauer. Dementsprechend gab es weniger bewölkte und mehr heitere Tage. Die Türkei und Süditalien fallen dabei wegen der spärlichen Datenlage etwas aus dem Rahmen.

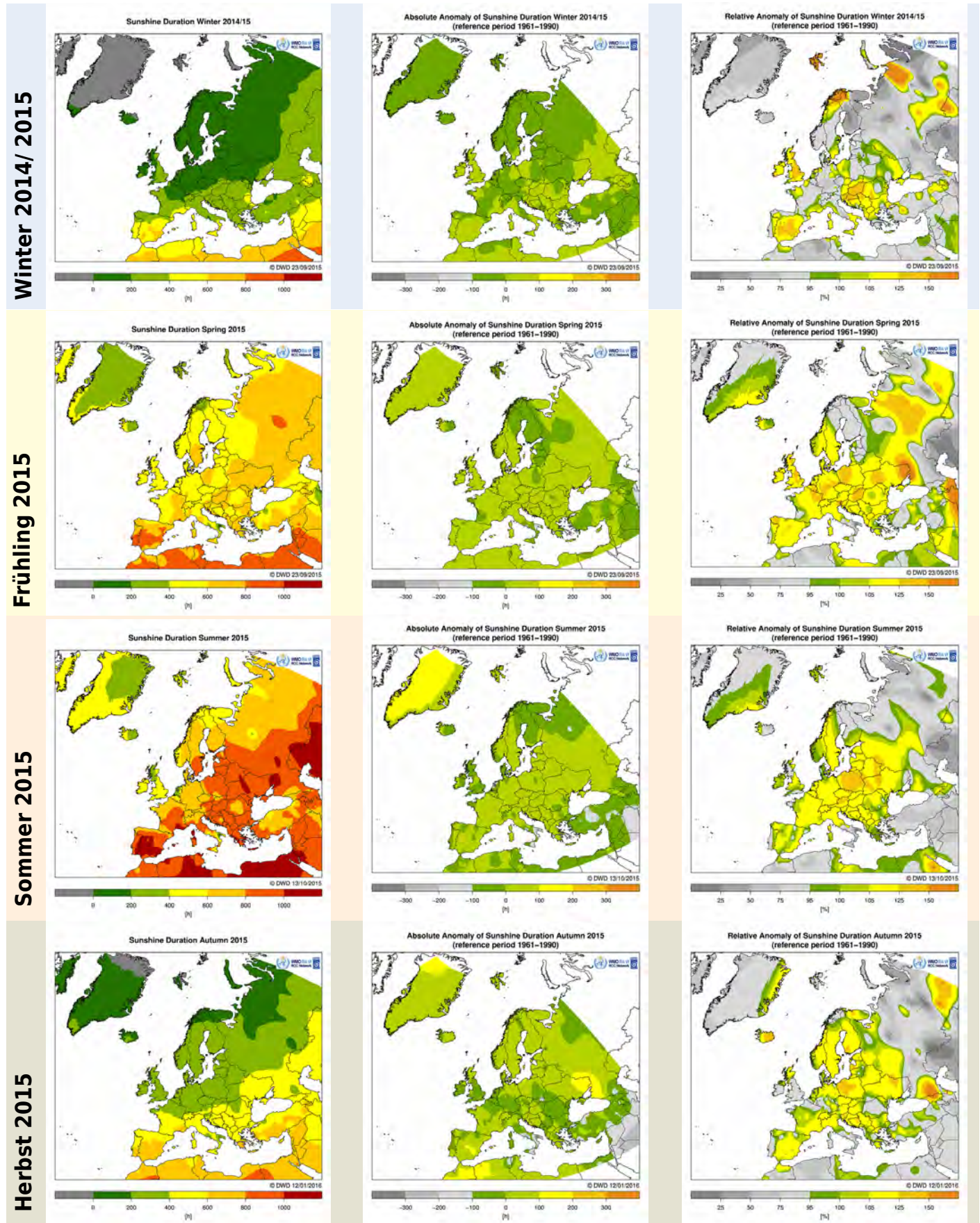
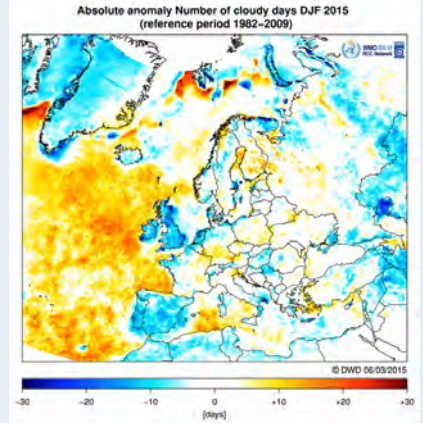
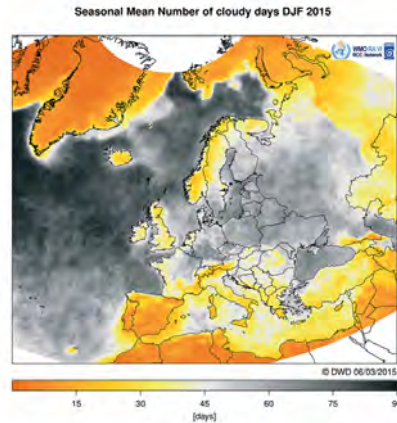
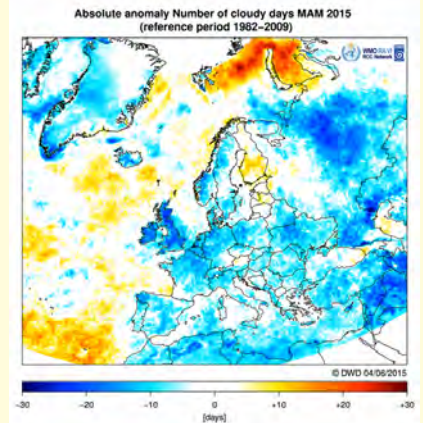
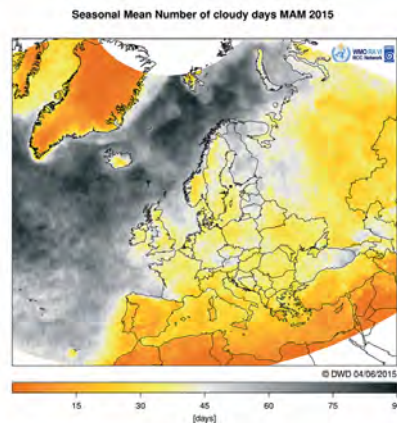


Abb. 9: Mittlere Sonnenscheindauer in h (links), absolute Abweichung in h (Mitte) und relative Abweichung in % (rechts) vom langjährigen Mittel 1961-1990 aus Stationsbeobachtungen für die Jahreszeiten Winter 2014/2015, Frühling 2015, Sommer 2015 und Herbst 2015

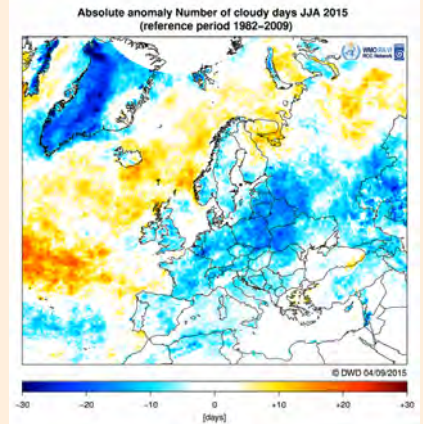
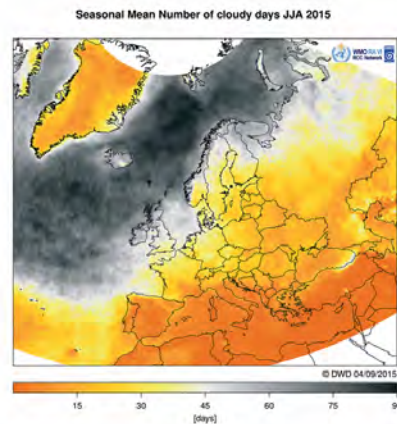
Winter 2014/ 2015



Frühling 2015



Sommer 2015



Herbst 2015

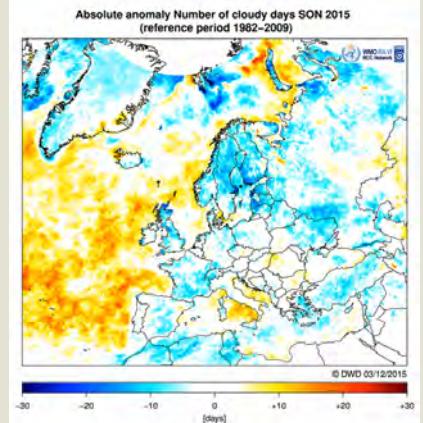
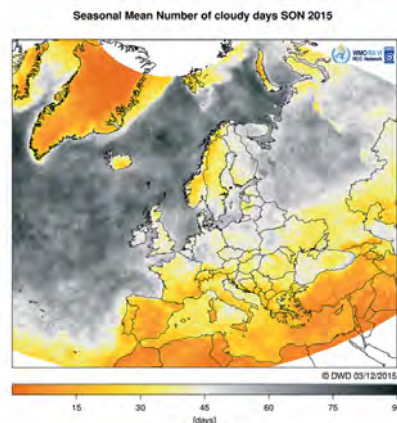
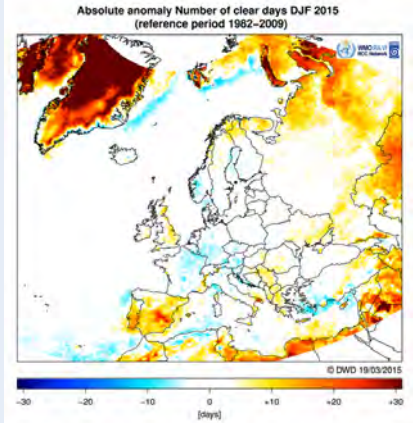
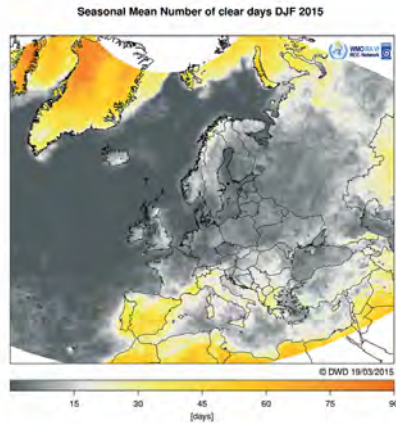
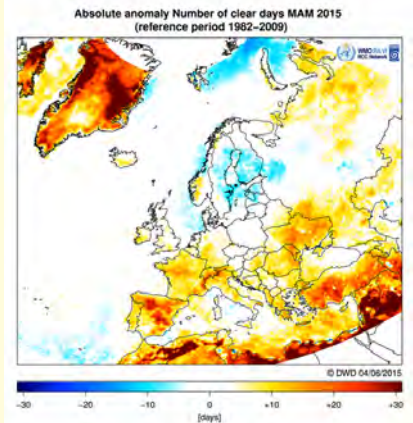
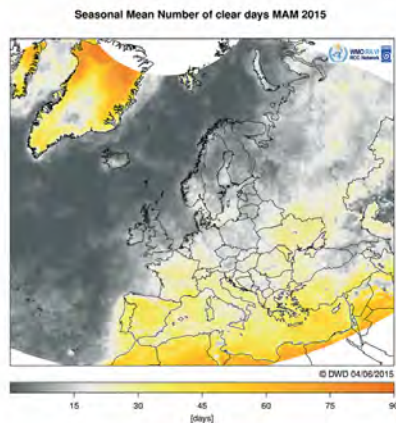


Abb. 10: Anzahl trüber Tage (links) und deren Abweichungen (rechts) vom langjährigen Mittel 1982-2009 aus Sattelitebeobachtungen für die Jahreszeiten Winter 2014/2015, Frühling 2015, Sommer 2015 und Herbst 2015

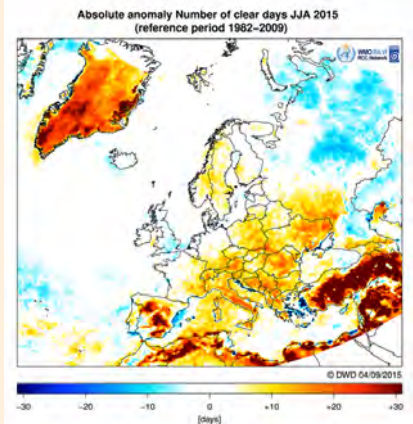
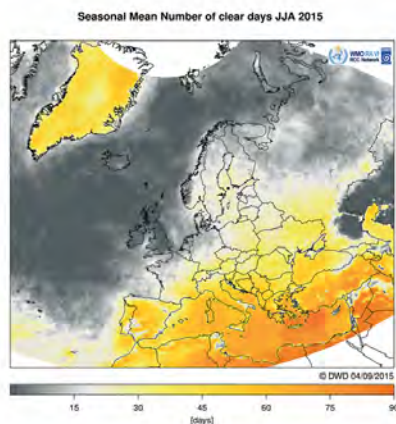
Winter 2014/ 2015



Frühling 2015



Sommer 2015



Herbst 2015

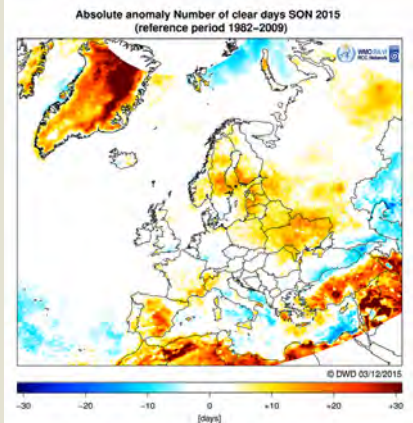
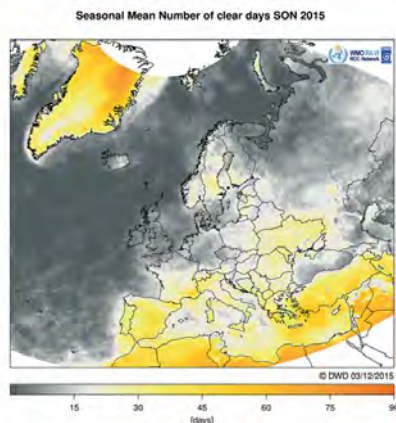


Abb. 11: Anzahl heiterer Tage (links) und deren Abweichungen (rechts) vom langjährigen Mittel 1982-2009 aus Sattellitenbeobachtungen für die Jahreszeiten Winter 2014/2015, Frühling 2015, Sommer 2015 und Herbst 2015

Klimatologische Bewertung der Jahreszeiten anhand ausgewählter Klimaindizes

Die klimatischen Besonderheiten der Jahreszeiten lassen sich auch anhand verschiedener Indizes charakterisieren, die beispielhaft in den Abb. 12 bis 15 präsentiert werden. Das ECA&D erzeugt Darstellungen verschiedener Klimaindizes für Monate, Jahreszeiten und das Jahr. Aus den verfügbaren Indizes wurden für jede Jahreszeit je ein repräsentativer Index für die Temperatur und den Niederschlag ausgewählt. Auf Stationsdaten (Abb. 12 und 13) beruhen die Anomalien ausgewählter Temperatur- und Niederschlagsindizes für die 4 Jahreszeiten. In Abb. 12 sind extreme thermische Verhältnisse (Anomalien der Eistage (Winter), kalter Tage (Frühjahr), Tropennächte (Sommer) und Sommertage (Herbst)) gezeigt. In Abb. 13 sind die Niederschlagsverhältnisse durch die Niederschlagssumme über 5 aufeinander folgende Tage charakterisiert. Die Ereigniskarten (Abb. 14) zeigen verschiedene extreme klimatologische Beobachtungen. Flächenhaft sind in diesen Karten die Verteilung von warmen und kalten Anomalien mit Werten von über +4°C und unter -4°C (Datenbasis Rasterdaten Temperaturabweichungen der Monatsmittel von der Referenzperiode, CLIMAT und Schiffsbeobachtungen) und die Verbreitung der starken Trockenheit (modifizierter SDI-Trockenheitsindex <-1.5) und des Niederschlagsüberschusses (>150 % des Mittels für 1951-2000) für Gitterboxen dargestellt (Datenbasis Rasterdaten des GPCC). Die Punkte charakterisieren Anomalien mehrerer Temperatur- und Niederschlagsindizes, die auf Beobachtungen von einzelnen Stationen basieren. Abb. 15 bietet einen Einblick in die Verteilung von extremen Wetterereignissen, die auf Informationen von Meldungen freiwilliger Beobachter basieren. Gemeldet werden Tornados, starke Windböen, starker Hagel und Starkniederschläge. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Ereignisse nicht unbedingt, die Gesamtheit solcher Ereignisse widerspiegelt.

Temperaturindizes

Die Zahl der Eistage (Maximumtemperatur <0°C) im **Winter 2014/2015** (Abb. 12, links oben) waren in fast ganz Europa geringer als im Durchschnitt der Jahre 1961-1990. Nur im Mittelmeerraum zeigen einige Stationen geringe Abweichungen um den Mittelwert, entsprechend den Temperaturabweichungen für den Winter (Abb. 3).

Das **Frühjahr 2015** (Abb. 12, rechts oben) zeichnet sich durch weniger kalte Tage aus (Tage mit Tagesmitteltemperatur unter dem 10 %-Perzentilwert) als im langjährigen Mittel und entspricht damit den Temperaturabweichungen für das Frühjahr (Abb. 3). Nur einige Bergstationen scheinen aus dem Rahmen zu fallen.

Die Abweichungen der Tropennächte (Minimumtemperatur >20°C) im **Sommer 2015** (Abb. 12, links unten) vermitteln ein etwas verwirrendes Bild. Die Stationen um das Mittelmeer weisen über 30 Tage mehr Tropennächte auf als dies im Mittel der Jahre 1961-1990 der Fall war. Hingegen zeichnen sich viele Stationen in der Nähe der Küste von Atlantik, Nord- und Ostsee durch eine unterdurchschnittliche Anzahl von Tropennächten aus. Eine Ausnahme bilden Großbritannien und Irland mit einer geringfügig höheren Anzahl an Tropennächten als Normal.

Obwohl der **Herbst 2015** sich durch positive Temperaturabweichungen auszeichnete (Abb. 3), lag die Zahl der Sommertage (Maximumtemperatur >25°C) in Zentraleuropa, Südschweden und Finnland unter der für die Jahreszeit üblichen Werten. In Nord- und Osteuropa lag die Zahl der Sommertage leicht über dem langjährigen Mittel (Abb. 12, rechts unten).

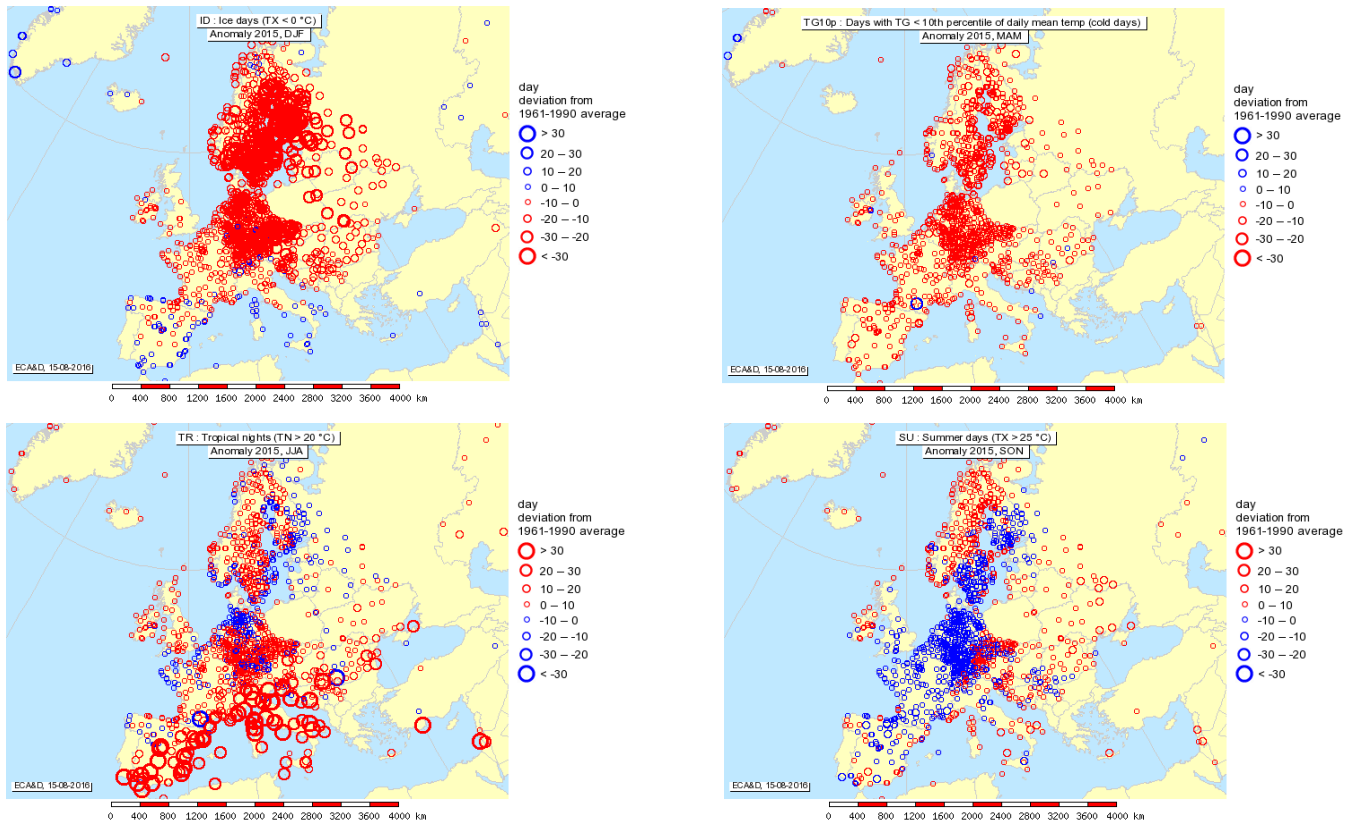


Abb. 12: Jahreszeitliche Anomalien ausgewählter Temperaturindizes nach ECA&D für Winter (links oben; ID (ice days) Eistage: Maximumtemperatur $<0^{\circ}\text{C}$), Frühjahr (rechts oben; TG10p, Kalte Tage oder Tage mit Tagesmitteltemperatur unter dem 10 %-Perzentilwert), Sommer (links unten; TR Tropennächte: Minimumtemperatur $>20^{\circ}\text{C}$) und Herbst (rechts unten; SU Sommertage Maximumtemperatur $>25^{\circ}\text{C}$)

Niederschlagsindizes

Im **Winter 2014/2015** (Abb. 13, links oben) lag die 5-tägige Niederschlagssumme vielerorts über dem Durchschnitt. In Mitteleuropa, teilweise auch in Frankreich, Spanien, Polen, der Ukraine und dem nördlichen Teil Skandinaviens lagen diese 5-tägigen Summen unter den sonst üblichen Werten.

Zum **Frühjahr 2015** (Abb. 13, rechts oben) änderte sich das Bild nur unwesentlich. In den Alpen, auf dem Balkan und im westlichen Mittelmeerraum traten kräftigere Schauer auf mit 5-tägigen Niederschlagssummen die das Mittel um mehr als 120 mm überstiegen.

Der **Sommer 2015** (Abb. 13, links unten) wies vor allem in Mittel- und Osteuropa geringere 5-tägige Niederschlagssummen als im Mittel auf. In diesen Gebieten setzte sich das Niederschlagsdefizit vom Frühjahr fort. Die Hydrologischen Dienste dieser Länder berichteten von Dürren und geringen Flusspegeln, wodurch viele Fische verendeten.

Der **Herbst 2015** (Abb. 13, rechts unten) verzeichnete wieder etwas höhere Niederschlagsmaxima in Südfrankreich, den Alpen und auf dem Balkan. Die in

Norddeutschland und Skandinavien teilweise auf kleinem Raum sich wechselnden Vorzeichen der Abweichungen lassen auf Schauer und gewittrige Niederschläge schließen.

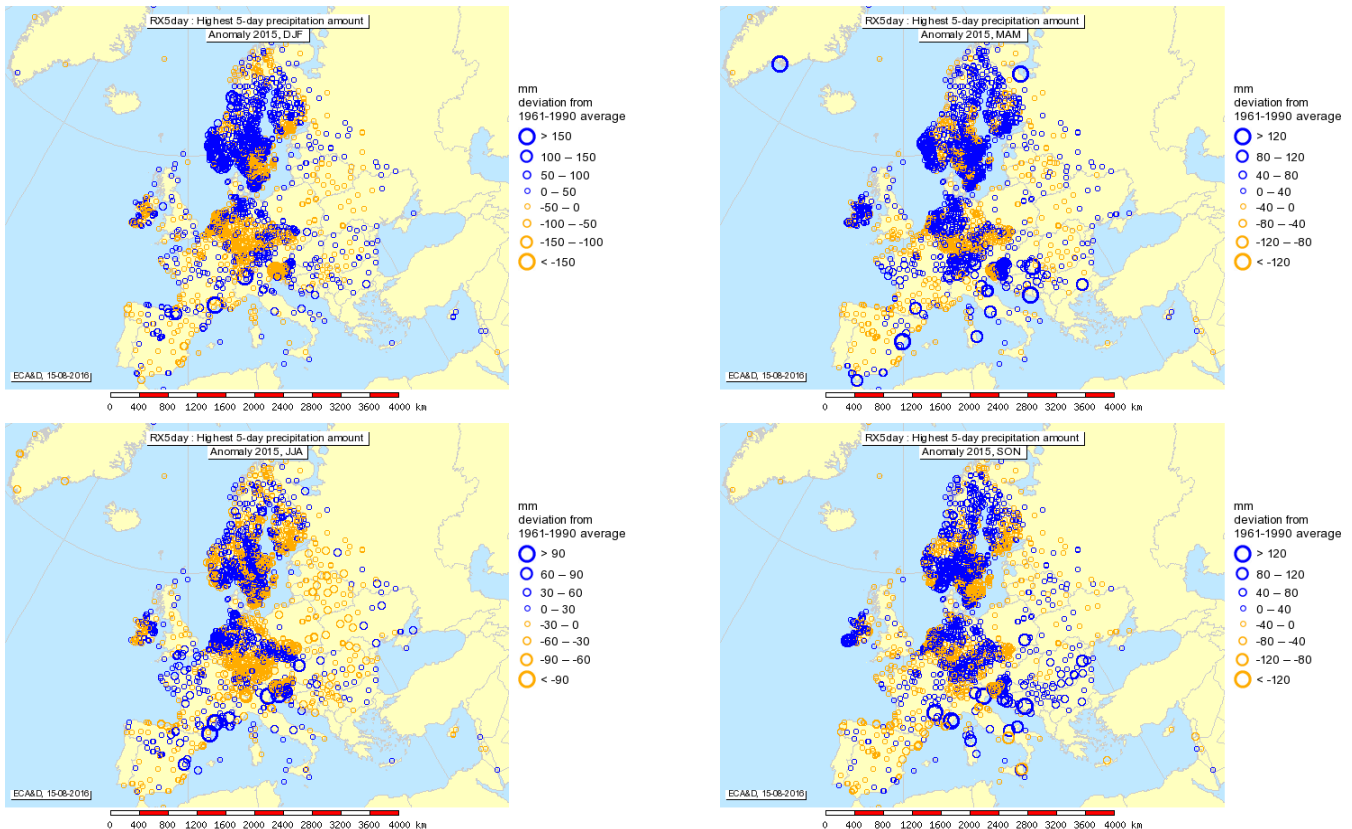


Abb. 13: Jahreszeitliche Anomalien des Maximums der 5-tägigen Niederschlagssumme (RX5day) nach ECA&D für Winter (links oben), Frühjahr (rechts oben), Sommer (links unten) und Herbst (rechts unten)

Besondere Ereignisse

In den Ereigniskarten für den **Winter 2014/2015** (Abb. 14, links oben) fallen besonders die Windspitzen über 32 m/s ins Auge (lila Punkte). An fast allen Küstenstationen trat zumindest einmal in diesen 3 Monaten eine Orkanböe auf. In vielen Teilen war die Anzahl sehr warmer Tage (Tagesmitteltemperatur über dem 90 %-Perzentil) und sehr nasser Tage (Tagessumme über dem 90 %-Perzentil) überdurchschnittlich. In Nordnorwegen, -schweden, Großbritannien, Griechenland und Bulgarien überstieg der aktuelle saisonale Niederschlag denjenigen des langjährigen Mittels um mehr als 50 %. In Teilen Schwedens, Finnlands, dem Baltikum und Nordrusslands lag das Jahreszeitenmittel der Temperatur +4°C über dem der Referenzperiode (1961-1990, siehe auch Abb. 3).

Das **Frühjahr 2015** (Abb. 14, rechts oben) war durch eine überdurchschnittliche Anzahl sehr nasser Tage in West- und Teilen Norosteuropas, in Skandinavien sowie den Alpen gekennzeichnet. Die Iberische Halbinsel, Südfrankreich und Rumänien waren dagegen sehr trocken mit einer überdurchschnittlichen Anzahl warmer Tage.

Der **Sommer 2015** (Abb. 14, links unten) war in Mittel- und Südeuropa von Hitzewellen geprägt, die sich in einer überdurchschnittlichen Anzahl sehr warmer Tage nieder

schlug. Begleitet wurde die Hitze von Gewittern mit heftigen Böen und Starkniederschlägen.

Wie alle Jahreszeiten in 2015, war auch der **Herbst 2015** (Abb. 14, rechts unten) wärmer als die Referenzperiode 1961-1990. An der Westküste Europas, von Frankreich bis Skandinavien, zeigten sich die Herbststürme durch Böen über 32 m/s. Auch der Mittelmeerraum war davon betroffen.

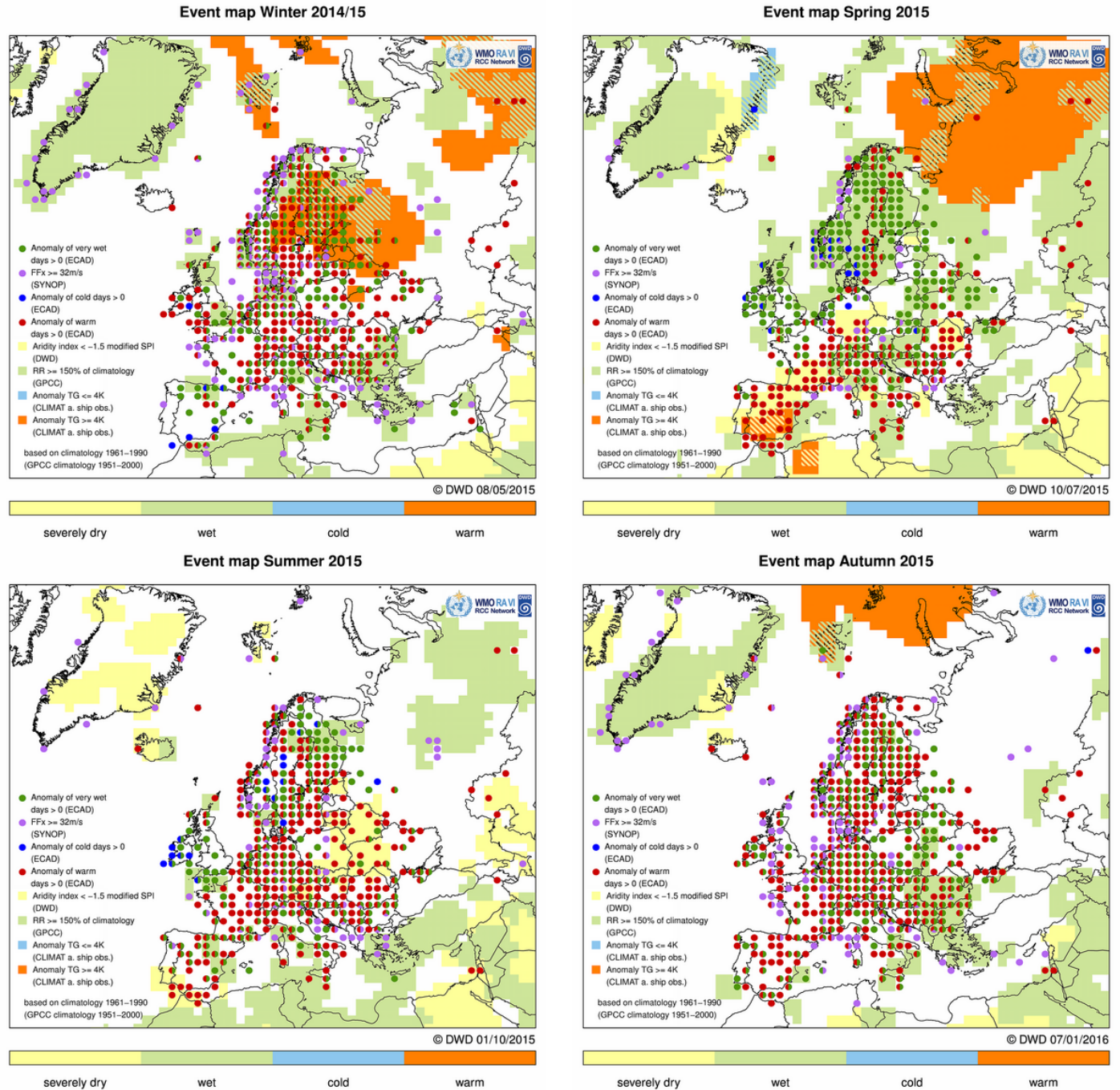


Abb. 14: Ereigniskarten für die Jahreszeiten Winter 2014/2015, Frühjahr 2015, Sommer 2015 und Herbst 2015

Legende zu Abb. 14:

- Anomalie sehr nasser Tage > 0 (ECAD)
- Anomalie sehr warmer Tage > 0 (ECAD)
- Windböen (>=32 m/s) (SYNOP)
- Anomalie sehr kalter Tage > 0 (ECAD)

Temperaturabweichungen der Monatsmittel von der Referenzperiode (CLIMAT und Schiffsbeobachtungen)

- Anomalie der Monatsmitteltemperatur ≤ -4 K
- Anomalie der Monatsmitteltemperatur ≥ 4 K
- Dürreindex < -1.5 modifizierter SPI (GPCC)
- Niederschlag ≥ 150 % der Klimatologie (GPCC)

Basierend auf der Referenzperiode 1961-1990 (GPCC Referenzperiode: 1951-2000)

Informationen der ESWD

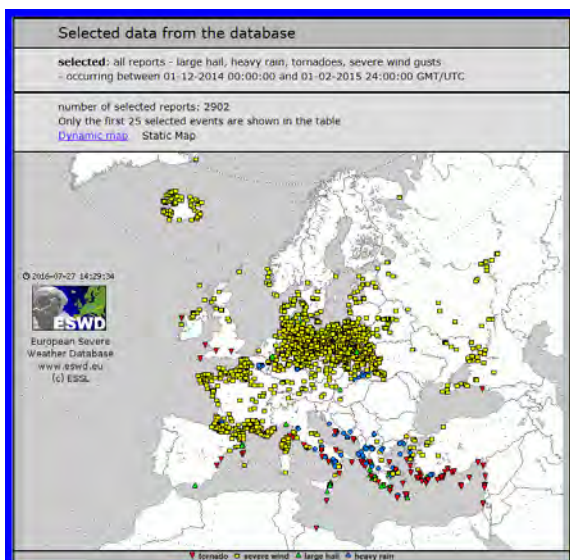
Der **Winter 2014/2015** (Abb. 15, links oben) fällt durch viele Sturmereignisse auf, die an der Westküste Frankreichs, den Pyrenäen, Korsika und dem nördlichen Zentraleuropa von Gelegenheitsbeobachtern an die European Severe Weather Database (ESWD) berichtet wurden. Im östlichen Mittelmeer wurden Starkniederschläge und Tornados gemeldet.

Im **Frühjahr 2015** (Abb. 15, rechts oben) gingen Meldungen von Großhagel und Tornados aus dem Mittelmeerraum ein. Das nördliche Zentraleuropa und Osteuropa kennzeichnen Meldungen über Sturmereignisse.

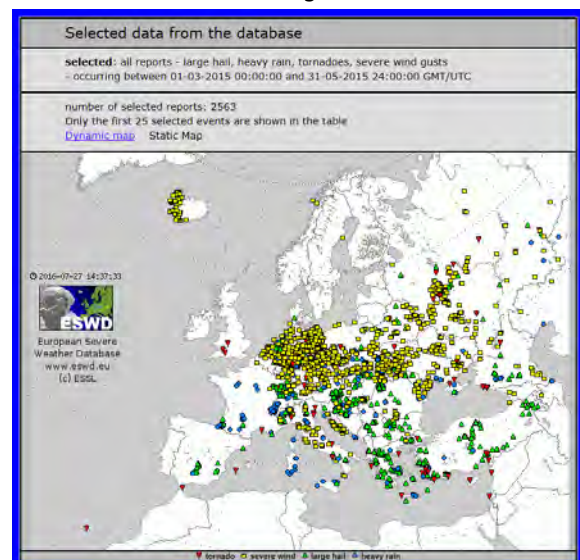
Im **Sommer 2015** (Abb. 15, links unten) war in Mittel- und Südeuropa von Hitzewellen geprägt, die von Gewittern mit heftigen Böen und Starkniederschlägen begleitet wurden. Dort wurden auch etliche Tornados, vermutlich Wasserhosen, beobachtet.

Im **Herbst 2015** (Abb. 15, rechts unten) gehen die Meldungen deutlich zurück, doch ums Mittelmeer sind noch viele Starkniederschlagsereignisse und Tornados beobachtet worden. Im nördlichen Zentraleuropa wurden auch Spitzenböen beobachtet.

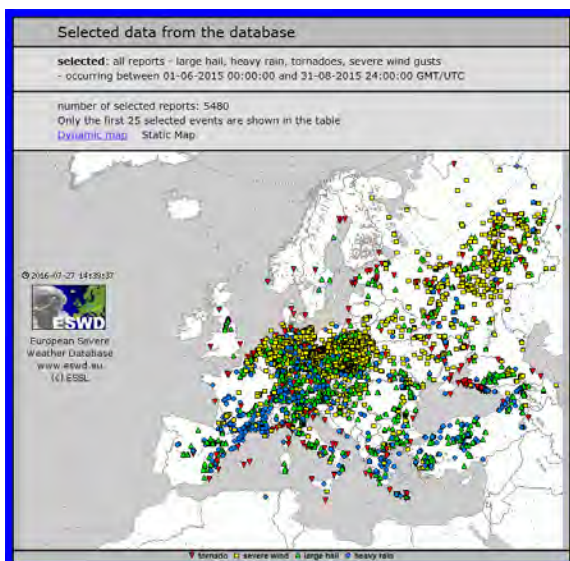
Winter 2014/2015



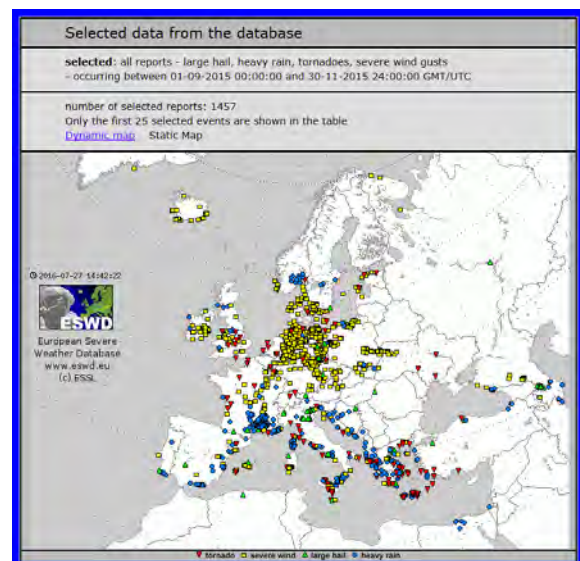
Frühling 2015



Sommer 2015



Herbst 2015



red: tornado, yellow: severe wind gusts, green: large hail, blue: heavy rain

Abb. 15: Ergebnisse von Datenbankabfragen in der European Severe Weather Database ESWD mit Mindestqualitätslevel QC1 (report confirmed) für die Phänomene **Tornado**, **Sturm**, **Hagel** und **Starkregen** für die Jahreszeiten Winter 2014/2015 (links oben), Frühling 2015 (rechts oben), Sommer 2015 (links unten) und Herbst 2015 (rechts unten)

Besondere Witterungsereignisse in den einzelnen Monaten des Jahres 2015 nach Berichten der europäischen Wetterdienste

Januar 2015

Vom 9. bis 11. Januar 2015 überquerten 2 Orkantiefs, ELON/EGON und FELIX, Mittel- und Nordeuropa. In Lemvig in Dänemark kam es zu einer Sturmflut mit 1.95 m über Normal, wodurch der frühere Rekord von 1.81 m übertroffen wurde. Auf dem Brocken erreichte der Wind am 9. und 10. Januar 2015 Orkanstärke mit 43 m/s. Am 10. Januar kletterte an der bayerischen Station Piding das Thermometer auf einen neuen Rekordwert von 20.5°C im Warmsektor von FELIX. Die Orkantiefs wurden von Gewittern, Hagel, starkem Regen und Schneefall begleitet und beschädigten Tausende Gebäude. Die wetterbedingten Schäden beliefen sich laut Münchner Rückversicherung auf 500 Million €. In Norwegen erreichten an einigen Stationen die relativen Monatssummen des Niederschlags fast 300 % des Normalen. An der Station Eikemo wurde das Maximum mit 782.3 mm (279 %) gemessen.

Februar 2015

Vom 1. bis 16. Februar wurden Bulgarien und Griechenland von Unwettern und Überschwemmungen heimgesucht wodurch 14 Menschen starben und laut Münchner Rückversicherung ein Schaden von 660 Mio. Euro entstand. In Bulgarien wurde eine Fläche von 23.300 km² von den Fluten bedeckt. Am 1. Februar wurde der höchste Tagesniederschlag an der Station Kirkovo (Bulgarien) mit 210 mm gemessen. An der Station Derviziana in Griechenland summierte sich der Niederschlag vom 30. Januar bis 1. Februar auf 359 mm. Der Orkan OLE führte in Norwegen zu neuen Rekordwindgeschwindigkeiten mit mehr als 46 m/s im Bergland und Südnorwegen. Zum ersten Mal in der Geschichte wurden die Bewohner der Insel Givær in Bodø wegen einer Springflut evakuiert.

In der ersten Dekade verzeichnete Spanien eine Kältewelle mit Werten der Minimumtemperatur an der Station Molina de Aragón in Zentralspanien von -11,9°C am 8. Februar.

März 2015

Mehrere Stürme überquerten im März Europa. Sturm ANTON zog vom 4. bis 7. März über Großbritannien, Frankreich, Korsika, Italien und Kroatien und verursachte in Verbindung mit der Bora erhebliche Schäden. In Westschotland verursachte der Sturm zusammen mit der Schneeschmelze Überflutungen. Vom 22. bis 31. März führten Sturmtiefs ISEGRIM, MIKE und NIKLAS über Zentral- und Südosteuropa zu lokal Schäden und Überflutungen. An mehreren Standorten wurden neue Rekorde der Windgeschwindigkeit registriert. Der Winter-

sturm NIKLAS verursachte vom 30. März bis 1. April in den Niederlanden und Deutschland erhebliche Schäden, die die Münchner Rück auf etwa 1,400 Mio. Euro bezifferte. Dabei kamen auch 11 Personen ums Leben.

Vom 5. bis 7. März erlebte Bulgarien einen Schneesturm, der weite Landesteile traf. Die Spitzenböen schwankten von 24 m/s (in Burgas) bis 34 m/s (in Sliven). An der Station Momchilgrad wurde ein 48-stündiger Niederschlag von 238 mm gemessen.

April 2015

Der April zeichnete sich in West- und Mitteleuropa durch überdurchschnittliche Sonnenscheindauer aus. Großbritannien verzeichnete mit 143 % einen neuen allzeit Rekord seit Beginn der Messungen im Jahr 1929. Auch Deutschland wurde mit 224.6 Sonnenstunden bevorzugt, 72.3 Stunden oder +47.5 % mehr als im Referenzzeitraum 1961-1990. Die damit verbundenen niedrigeren Niederschläge führten von Rumänien bis Polen zu einer Dürre, die bis August andauerte. Die Pegelstände der Flüsse sanken, wodurch die Schifffahrt behindert wurde und viele Fische verendeten.

Mai 2015

In Vorbereitung auf den Sommer zeigte sich der Mai 2015 auf der Iberischen Halbinsel von seiner warmen Seite. Anfang Mai führte Warmluft von Afrika am 5. Mai zu einer Maximumtemperatur von 38.4°C an der Station Decimomannu auf Sardinien (Italien). Einige Tage später stiegen die Temperaturen in Spanien und Portugal über 40°C und erreichten am 14. das Maximum für den Mai mit 42.6°C am Flughafen von Valencia (Tags zuvor wurde derselbe Wert schon am Flughafen in Lanzarote gemessen). Für das Monatsmittel der Maximumtemperatur in Portugal ergab sich ein Wert von 25.5°C, +4.5 K über dem Normalen. Das war der höchste Mai-Wert für Portugal seit Beginn der Messungen im Jahre 1931.

Juni 2015

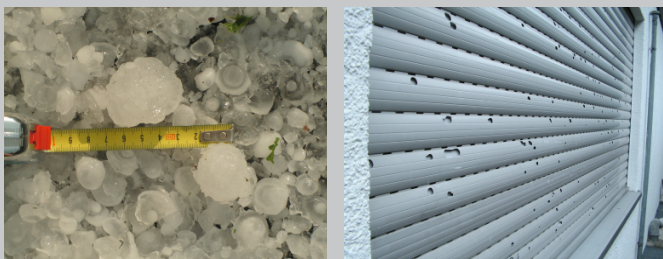
Fast den ganzen Sommer hindurch, von Juni-August, breitete sich eine Hitzewelle über Europa aus. Vor allem Südeuropa war davon betroffen aber auch nach Zentral- und Osteuropa drang sie ab und zu vor. Die Münchner Rück bezifferte den Schaden auf etwa 1,000 Mio. €.

Am 13. und 14. Juni führte ein heftiges Gewitter mit Starkregen in der Hauptstadt von Georgien, Tiflis (Tbilisi), zu Überschwemmungen und Erdbeben in denen 12 Menschen ihr Leben verloren. Auch der Zoo war betroffen, in dem viele Tiere umkamen.

Juli 2015

Vom 4. bis 5. Juli zog ein Unwetter und Hagelsturm von

Belgien nach Deutschland mit 2 Toten und einem Schaden von etwa 400 Mio. Euro. Die Hagelschäden in Nordrhein-Westfalen erstreckten sich von Euskirchen über Bonn, Sankt Augustin, Olpe bis Lennestadt sowie im Landkreis Siegen-Wittgenstein. Mit 40.3°C wurde am 5. Juli an der Station Kitzingen ein neuer deutscher Temperatur-Allzeitrekord eingestellt (bisheriger Rekord vom 27. Juli 1983 mit 40.2°C). Am 8. Juli erlebte Österreich schwere Gewitter- und Hagelstürme mit Böen von 39 m/s in Innsbruck. Gemäß den regionalen Versicherungen war es das schlimmste Ereignis der letzten 150 Jahre mit 11 Toten und etwa 150 Mio. Euro Schaden. Es war der heißeste Juli seit Aufzeichnungsbeginn in Österreich, Spanien und der Schweiz. Auch die globale Temperatur erreichte im Juli einen neuen Rekord.



Hagel vom 5. Juli in Hennef/Sieg Kreis Siegburg (Quelle: Hermann Mächel)

August 2015

Wegen der anhaltenden Hitze verzeichnete man in diesem Sommer in Österreich 470 Feuer. In Deutschland war dies nach 2003 der zweitwärmste August und am 7. des Monats wurde der im Vormonat aufgestellte Rekord mit 40.3°C wieder in Kitzingen erreicht. Auch Ungarn litt unter der Hitze, in Budapest wurde in den Monaten Juli und August ein neuer Rekord mit 34 Tropennächten aufgestellt.

September 2015

Nach der großen Hitze stellen sich die Gewitter ein. Im Gebiet um Neapel (Italien) kam es am 5. September zu heftigen Gewittern und Hagel mit einem Durchmesser von bis zu 11.5 cm und einem Gewicht von 350 g, die hauptsächlich über dem Meer beobachtet wurden. Dabei kamen mehrere Menschen und Tiere ums Leben.

Der Südosten Frankreichs wurde gleich von mehreren Starkregengebieten getroffen. Am 12. September wurden an der Station Lodeve 200 mm Regen in 6 Stunden gemessen (358 mm in 24 Stunden). Der Sturm bewegte sich weiter über die Provence, Korsika bis nach Italien. Das nächste Starkregengebiet brachte am 13. September an der Station Grospierres eine Regenmenge von 242 mm in 6 Stunden und 246.5 mm in 12 Stunden.

Auch in Israel wurde ein neuer Rekord aufgestellt. Am 9. September wurde in Sedom mit 36.5°C die bisher höchste Minimumtemperatur gemessen.

Oktober 2015

Am 30. September zog ein Tiefdruckgebiet von den Balearen nach Sardinien und erreichte am 1. Oktober Korsika. Der 24-stündige Niederschlag an der Station Cape Perusato (Südkorsika) verzeichnete mit 134.2 mm einen neuen Rekord. An mehreren Stationen wurden sogar mehr als 300 mm gemessen und am Cape Corsica Böen von über 43 m/s. Schon am 3. Oktober zog wieder ein Sturmtief vom Golf von Lyon über die Französische Riviera nach Italien. In Cannes wurden heftige Niederschläge mit bis zu 109 mm/h gemessen gefolgt von 68 mm/h (bzw. 195.5 mm/Tag) und 74 mm/h in Nizza. Dies führte zu schweren Überflutungen und Sturzfluten in diesen Städten, wodurch erhebliche Schäden verursacht wurden und es 20 Personen das Leben kostete. Die Schäden bezifferte die Münchner Rück auf etwa 900 Mio. Euro. Auch in Italien, Kroatien, Griechenland und der Türkei führten heftige Gewitter mit Starkregen und Tornados zu erheblichen Schäden.

November 2015

Zwei Orkane überquerten Dänemark. Der vom 7. bis 8. November hieß FREJA mit Windspitzen von bis zu 34.6 m/s. Der zweite Orkan hieß NILS (im dänischen Sprachgebrauch aber GORM) und erreichte in Dänemark am 29. November Böen von 45.9 m/s. West- und Zentraleuropa wurde vom 17. bis 18. November vom Orkan HEINI heimgesucht mit Böen von über 48 m/s (am 18. auf dem Brocken 47.3 m/s, und auf der Schneekoppe (Sniezka, Polen) sogar über 50 m/s) mit erheblichen Schäden an Bäumen und Häusern. Diese Orkane waren auch mit Starkregen verbunden, so dass an der Station St.-Blasien-Menzenschwand im 48-stündigen Zeitraum (vom 19. bis 21. November 7 Uhr) 185.7 mm/48h gemessen wurden.

Dezember 2015

Vom 4. bis 6. Dezember überquerte Sturmtief DESMOND (im englischen Sprachgebrauch) die Britischen Inseln mit ergiebigen Niederschlägen, vor allem im Norden der Insel und damit verbundenen Überschwemmungen. Die weiteren Sturmtiefs (z. B. EVA und FRANK) die Großbritannien überquerten führten dazu, dass dieser Dezember der nasseste in den Aufzeichnungen des Königreichs wurde mit 191 % des langjährigen Mittels. Mancherorts fielen sogar das 2- bis 4-fache des Üblichen. An der Station Honister Pass (Cumbria) wurden am 5. ein neuer Landesweiter 24-Stunden Rekord von 341.4 mm gemessen. Gleichzeitig war dies auch der wärmste Dezember in Großbritannien seit 1910 (aber auch seit 1659). Die durch die Orkantiefs NILS und OSKAR von 29. November bis 1. Dezember im Großbritannien und Irland entstandenen Schäden zusammen mit denjenigen der Überschwemmungen wurden von der Münchner Rückversicherung auf etwa 3,000 Mio. Euro geschätzt.

Quellen und Referenzen

Allgemein:

Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI - Europe and Middle East (http://rcccm.dwd.de/DWD-RCCCM/EN/products/reports/reports_node.html)

Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., Schamm, K., Schneider, U., and Ziese, M., 2013: A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present, Earth Syst. Sci. Data, 5, 71-99, doi:10.5194/essd-5-71-2013.

Brugge, R. (2015): World Weather News 2015; University of Reading, UK; <http://www.met.reading.ac.uk/~brugge/world2015.html> (Accessed 23.08.2016)

Dartmouth Flood Observatory (<http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>)

Deutsche Rückversicherung 2016: Sturmdokumentation 2015 Deutschland. (http://www.deutscherueck.de/fileadmin/user_upload/Sturmdoku_2015_WEB.pdf)

European Severe Weather Database ESWD (<http://www.essl.org/cgi-bin/eswd/eswd.cgi>)

European Climate Assessment & Dataset ECA&D (<http://www.ecad.eu/>)

Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. J. Geophys. Res (Atmospheres), 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201"

KNMI/DWD: 2015: joint warmest year on record in Europe http://cib-dev.knmi.nl/mediawiki/index.php/2014_warmest_year_on_record_in_Europe (Accessed 23.08.2016)

Mekonnen, A., J. A. Renwick, and A. Sánchez-Lugo, Eds., 2016: Europe and the Middle East [in "State of the Climate in 2015"]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 97 (8), S197-S209.

Monthly Bulletin on the Climate in WMO Region VI - Europe and Middle East (http://rcccm.dwd.de/DWD-RCCCM/EN/products/reports/reports_node.html)

Monthly Event Calendars, (http://www.dwd.de/EN/our-services/rcccm/int/rcccm_int_sse.html)

Münchener Rückversicherungs 2016: TOPICS GEO Jahresrückblick 2015. (<https://www.munichre.com/de/re-insurance/magazine/topics-online/2016/topicsgeo2015/>, accessed 23.08.2016)

NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Analysis for Annual 2015, published online January 2016, retrieved on August 23, 2016 from <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513>.

Satellite Application Facility on Climate Monitoring CM SAF (<http://www.cmsaf.eu>)

Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN) (<http://gpcc.dwd.de>)

WMO, 2016, WMO statement on the status of the global climate in 2015, WMO-No. 1167

Berichte zu ausgewählten überregionalen Ereignissen:

Deutschland: Stürme ELON und FELIX in Deutschland vom 9. bis 11. Januar 2015 (11.09.2016)

Deutschland: Orkantief NIKLAS wütet am 31. März 2015 über Deutschland

Europa: Sturm, Starkniederschläge Zentraler Mittelmeerraum 04.-06.03.2015 (11.09.2016)

Europa: Sturmtiefserie „Mike“ und „Niklas“ Mitteleuropa 29.03.-31.03.2015 (11.09.2016)

United Kingdom: The weather in March 2015 (11.09.2016)

Norwegen: Så voldsom var «Ole» <http://www.yr.no/artikkel/ekstremvaeret-satte-nye-vindrekorder-1.12196234> (11.09.2016)

Spanien: Resumenes de febrero de 2015 (11.09.2016)

Das Klima 2015 im globalen Maßstab

L. Köhl, C. Lefebvre, A. Becker

Das Jahr 2015 war das wärmste Jahr seit dem Beginn der regelmäßigen Aufzeichnungen am Ende des 19. Jahrhunderts. Es stand unter dem Einfluss eines starken El Niño Ereignisses und war regional von dessen typischen Extremereignissen wie Hitzewellen, Überflutungen durch Starkregen und Dürren geprägt.

El Niño-Ereignis

Eine El Niño-Phase ist die Warmphase der El Niño-Southern Oscillation (ENSO), einem gekoppelten Zirkulationssystem von Ozean und Atmosphäre im Bereich des tropischen Pazifiks. Eine La Niña-Phase die Kaltphase. Während eines El Niño Ereignisses ist die Oberflächentemperatur im tropischen Ostpazifik erhöht. Dies führt zu einer Abschwächung des Humboldtstroms, einer kalten Meeresströmung vor der Küste Amerikas, und der Passatwinde (teilweise bis zu deren Umkehr). Der El Niño 2015/16 setzte im Frühling 2015 ein. Im November erreichte die mittlere Wasseroberflächentemperatur über dem zentralen Äquatorialpazifik (Niño3.4-Region) mit einer Abweichung von 2,95°C zum Mittel des Vergleichszeitraums 1981-2010 die höchste Anomalie dieses Ereignisses. Es gab weltweite Auswirkungen auf das Klima. Charakteristische Folgen waren u.a. die Trockenheit in Südostasien, im Nordosten und Süden Afrikas, im Osten von Kanada und den USA, in Mittelamerika und Nordbrasilien, sowie extreme Niederschläge an der peruanischen Pazifikküste, in Argentinien und im Süden der USA. Zudem wirkt sich eine El Niño-Phase in einer Erhöhung der Globaltemperatur aus (vgl. Abb. 1).

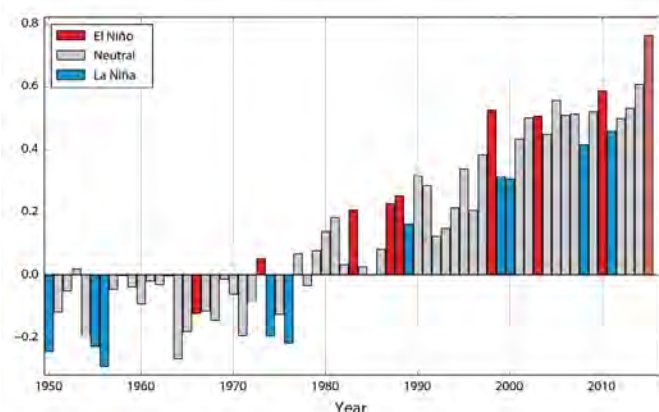


Abb. 1: Anomalien der Jahreswerte der Globaltemperatur als Mittel der 3 globalen Datensätze HadCRUT, NOAA Global-Temp, GISTEMP (Referenzzeitraum 1961-1990) als Balken. Durch El Niño beeinflusst: rot, La Niña: blau, ohne starken Einfluss (neutral): grau

Temperatur

Im Jahr 2015 führte der El Niño dazu, dass dieses Jahr noch wärmer ausfiel als das bisher wärmste Jahr 2014.

Nach Angaben der WMO (WMO, 2016) lag die Jahresmitteltemperatur um $0,76 \pm 0,09$ K über dem Mittel des internationalen Referenzzeitraums 1961-1990. Diese Ergebnisse beruhen auf den Temperaturdatensätzen des UK Met Office Hadley Centre und der Climate Research Unit der University of East Anglia (HadCRUT), des National Center for Environmental Information der NOAA (NOAA Global-Temp) und des Goddard Institute for Space Studies der NASA (GISTEMP). Die Temperatur über Land war ähnlich hoch wie in den Jahren 2005, 2007 und 2010. Die Wasseroberflächentemperatur lag auf dem Rekordniveau von 2014, wozu insbesondere die überdurchschnittliche Wärme des zentralen und östlichen Äquatorialpazifiks und des Nordostpazifiks beitrugen, aber gebietsweise auch die des Indischen Ozeans und des Atlantiks. Nach Auswertungen der NOAA waren sowohl der Winter 2014/2015 als auch der Sommer die jeweils wärmsten der Zeitreihen seit 1880.

Abb. 2 zeigt die globale Verteilung der Temperaturanomalien des Jahres 2015. Für die europäischen Länder Estland, Finnland und Spanien war 2015 ein Rekordjahr, während es für die Länder Deutschland, Frankreich, Slowenien, Moldawien, Ungarn und Serbien zu den Top 3 gehörte. Zwischen Mai und September traten in Europa immer wieder Hitzewellen auf. An einigen Stationen wurden neue Temperaturrekorde gemessen, wie auch in Deutschland. Die Monate November und Dezember waren außergewöhnlich warm und brachten neue Rekordwerte für die einzelnen Monate. Den wärmsten Dezember seit Beginn der Messungen erlebten u.a. Deutschland, Frankreich, Großbritannien und die Niederlande. Auch für die Russische Föderation und China war 2015 das bisher wärmste Jahr.

In Nordamerika waren es mehrheitlich die westlichen Regionen, in denen es besonders warm war. Für die USA war 2015 das zweitwärmste Jahr, für 4 Bundesstaaten sogar das wärmste seit Beginn der Zeitreihe 1895. Auch hier traten im Monat Dezember Rekordtemperaturen auf, und zwar in 29 Bundesstaaten. Auch ein Großteil von Südamerika war wärmer als das Mittel, und zwar um bis zu 2 K. Die höchsten Werte traten in Teilen Venezuelas und Kolumbiens, an der Karibikküste, in Nordchile und im Südosten Brasiliens auf. In Argentinien wurde der kälteste Oktober verzeichnet, dennoch geht das Jahr als zweitwärmstes in die Geschichte ein.

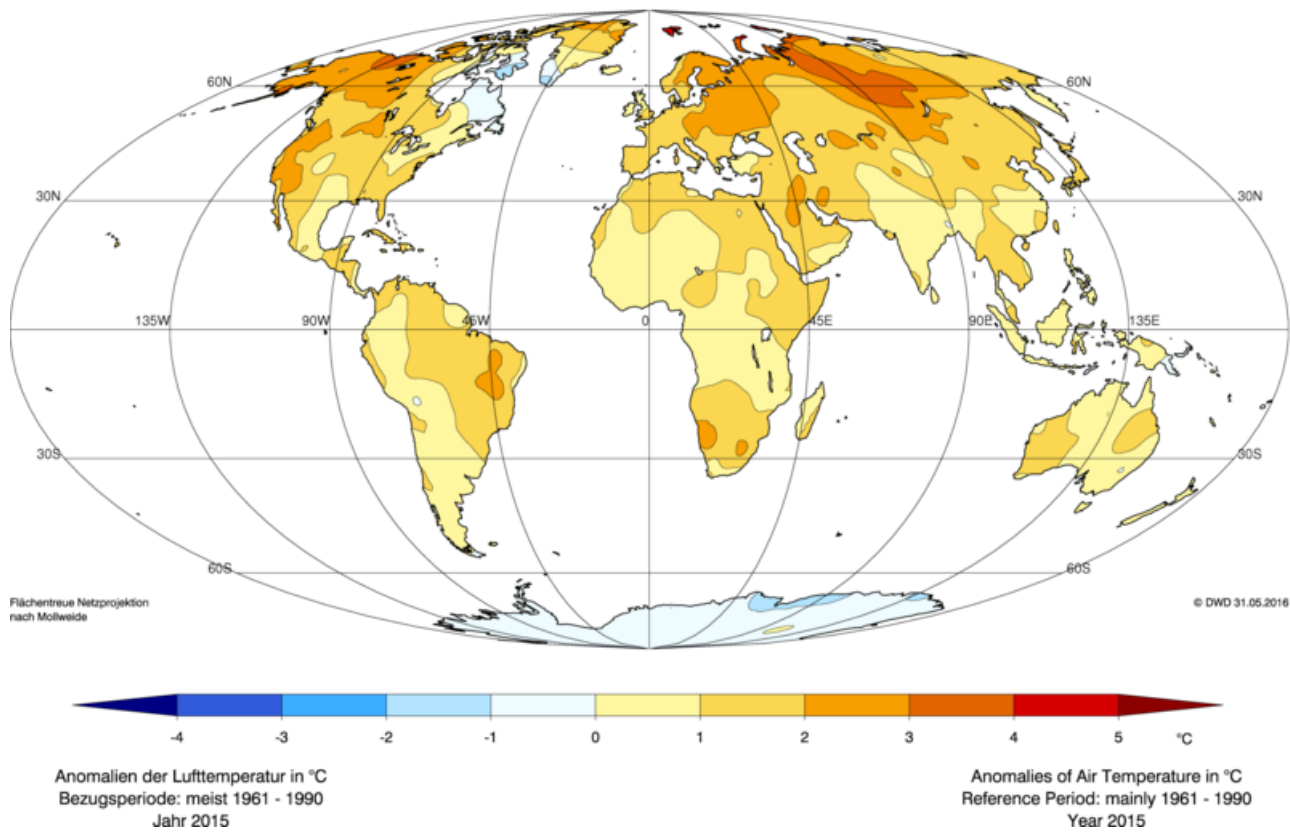


Abb. 2: Abweichungen der Jahresmitteltemperaturen 2015 vom Mittel des Zeitraums 1961-1990 (Quelle: DWD)

In Afrika traf die Hitze besonders den Süden. In der Republik Südafrika wurden örtlich mehrere Rekorde aufgestellt, außerdem wurde mit 48,4°C am 27. Oktober in Vredendal ein neuer landesweiter Rekord erreicht. Neben Südafrika war es auch im Norden des Kontinents überdurchschnittlich warm, vor allem in Marokko und Ägypten in den Monaten Mai und Juli, was auch zu einer 50 %igen Reduktion des Ernteertrags von Zitrusfrüchten führte.

Indien und Pakistan wurde in der Vormonsunzeit von heftigen Hitzewellen heimgesucht, bei denen Tausende Menschen ums Leben kamen. Im Mai und Juni wurden dort Temperaturen von deutlich über 40°C gemessen. Neben Indien und Pakistan waren auf dem asiatischen Kontinent auch Russland, der Iran und Hongkong von der Hitze betroffen.

Australien verzeichnete den bisher wärmsten Oktober, der durch eine Hitzewelle zu Monatsbeginn zahlreiche neue Temperaturrekorde brachte. Die Abweichungen zum vieljährigen Mittel waren die höchsten, die je in einem Monat verzeichnet wurden.

Niederschlag

Das Niederschlagsaufkommen wurde 2015 deutlich durch das El Niño-Ereignis beeinflusst. Einen Überblick über die Niederschläge als Perzentile des Mittels 1951-2000 zeigt die Abb. 3.

Zu den Regionen mit außergewöhnlich viel Niederschlag gehören südliche Teile der USA, Mexiko, Peru, Nordchile, Paraguay, Südbrasilien, Nordargentinien, Nord- und Südosteuropa, Teile von Zentralasien, Südostchina, Teile von Pakistan und Afghanistan. Zu den durch Trockenheit gekennzeichneten Regionen zählen Mittelamerika, der Nordosten Südamerikas, Teile von Zentral- und Südeuropa, Teile von Südostasien, Indonesien und dem südlichen Afrika. Die gemessenen Abweichungen in den El Niño sensitiven Regionen entsprachen größtenteils den Erwartungen an ein starkes El Niño Ereignis. Lediglich die eher zu geringen negativen Abweichungen in Ostafrika weisen darauf hin, dass kein El Niño Ereignis in seinen Auswirkungen auf das Niederschlagsverhalten exakt dem Anderen gleicht. Für Europa hat das El Niño Ereignis keine Rolle gespielt, obwohl es auch dort zu Abweichungen von den mittleren Verhältnissen gekommen ist.

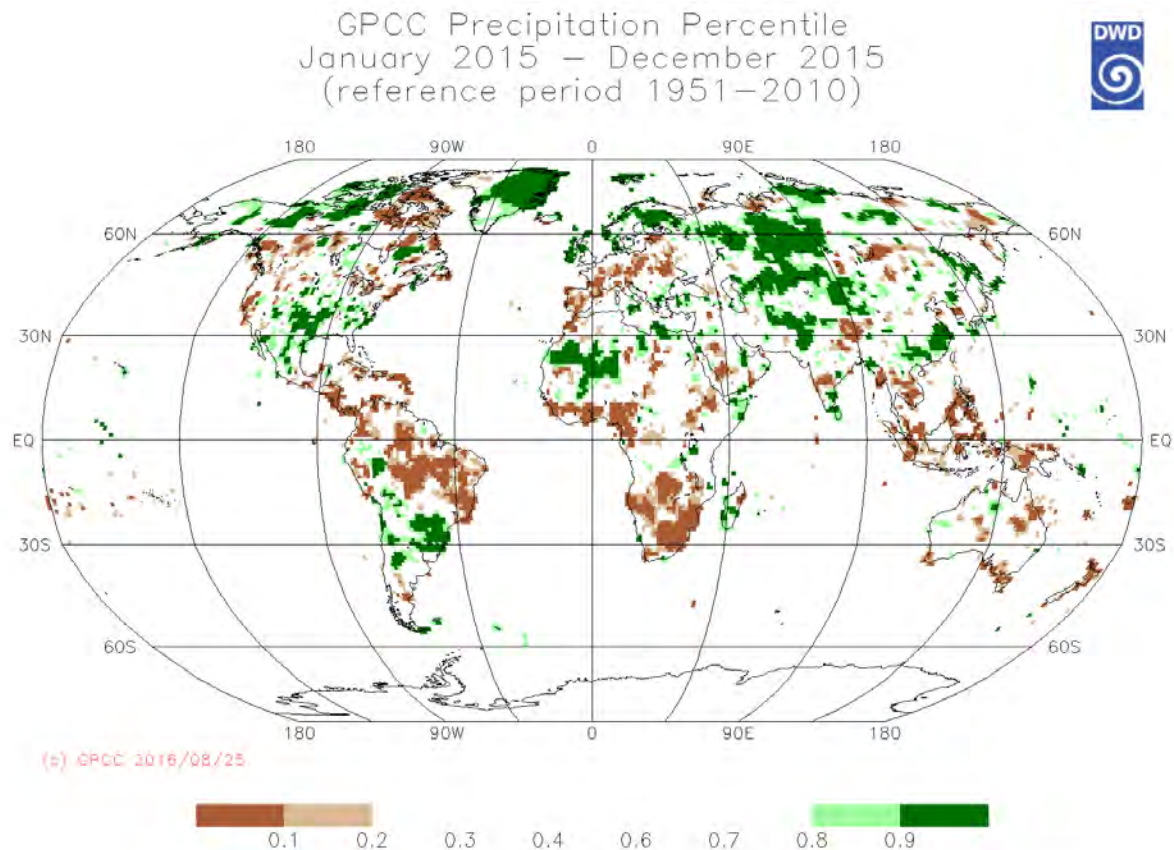


Abb. 3: Perzentile der Niederschlagshöhe für das Jahr 2015 vom Mittel des Zeitraums 1951-2000. Die 10, 20, 80 und 90 Perzentile sind farblich hervorgehoben (Quelle: Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie, DWD))

So verzeichnete die schwedische Stadt Pitea mit 134,6 mm den niederschlagsreichsten Januar seit 1860, auch der Mai war in Schweden und den anderen skandinavischen Ländern sehr nass, so wurden mancherorts 100- oder 200-jährige monatliche Höchstwerte erreicht. In Montpellier (Frankreich) wurden im August 108,1 mm innerhalb einer Stunde gemessen, was einen örtlichen Rekord bedeutete. Von Starkregen und Überflutungen waren auch Zypern, Albanien, Bosnien, Mazedonien, Griechenland und Bulgarien betroffen. In Cumbria wurde mit 341,4 mm innerhalb von 24 Stunden ein neuer britischer Rekord aufgestellt. Neben den Starkregenereignissen gab es in Europa auch ungewöhnliche Trockenheit. Die Slowakei verzeichnete den trockensten Sommer seit 1872. Der Dezember war insbesondere in Österreich und Ungarn sehr trocken.

Sehr trocken war es im Westen der USA. Zahlreiche Waldbrände breiteten sich im August über dem Nordwesten aus. In Alaska wurden im Mai 400 Feuer gezählt, welche insgesamt 728 000 Hektar vernichteten, was einen Rekord darstellt. In den anschließenden Sommermonaten folgten weiterhin mehrere Hundert Feuer. Der Mai war extrem nass (insbesondere in Colorado, Oklahoma und Texas) und ging als niederschlagsreichster Monat der Vereinigten Staaten in den letzten 121 Jahren in die

Geschichte ein. Im Oktober wurde durch den Hurrikan JOAQUIN tagelanger Starkregen in North und South Carolina ausgelöst. Den Überflutungen fielen 16 Menschen zum Opfer. Der Dezember war gleichzeitig der wärmste und regenreichste der Geschichte. Mexiko verzeichnete den niederschlagsreichsten März seit Aufzeichnungsbeginn 1941. In Südamerika begann das Jahr sehr trocken, vor allem in Brasilien, was für El Niño-Jahre typisch ist. Auch in Kolumbien, Bolivien und Venezuela blieb der Regen größtenteils aus, was zu schweren Ernteverlusten führte. Der Januar war auch in Chile trockener als im Mittel, teilweise sogar niederschlagsfrei. Argentinien erlebte den regenreichsten Februar. In Cordoba wurde mit 385 mm der Rekord von 1899 (266 mm) gebrochen. Im März fiel sogar ungewöhnlich viel Regen in der Atacama-Wüste. Starkregen und Überflutungen traten gegen Ende des Jahres insbesondere in Paraguay, Südbrasilien und Nordargentinien auf und hinterließen große Schäden an Häusern und Infrastruktur.

In Nordafrika begann das Jahr ungewöhnlich nass. In Alhoceima (Marokko) fielen im Februar 206 mm, wobei der Monatsdurchschnitt bei 36 mm liegt. Im September hingegen hatte Marokko mit Trockenheit zu kämpfen. Anders sah es in Libyen aus, wo es im September zahlreiche Überflutungen gab. Der Monsun brachte Westafrika viel

Regen, zum Teil mehr als 100 mm pro Tag, in Burkina Faso waren 21 000 Menschen von Überschwemmungen betroffen. Überflutungen und Tagesniederschlagsrekorde gab es zudem im Frühling und November in Tansania und im Januar in Malawi, Mosambik und Simbabwe. Südafrika durchlebte das trockenste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen.

Indien verzeichnete nach 2014 auch 2015 Niederschlagsdefizite. Der Sommermonsun brachte zwischen Juni und September nur 86 % des vieljährigen Mittels, was zu Wassermangel und Ernteverlusten führte. Jedoch forderten in dieser Zeit Starkregenereignisse über 200 Menschenleben. Von Extremereignissen war auch der Sommermonsun in Pakistan geprägt, wo in der ersten Hälfte 90 % des gewöhnlichen Niederschlags fielen. In Mianwali fielen am 2. und 3. August in 36 Stunden 340 mm Regen. Das Monatsmittel beträgt 116 mm. In China waren 75 Mio. Menschen von Überschwemmungen zwischen Mai und September betroffen, die Schäden von 25 Mrd. US\$ verursachten. Den Sommer über kam es im Norden und Nordwesten des Landes jedoch auch zu Dürren und damit zu Ernteeinbußen von Mais und Kartoffeln. In Indonesien ließ Trockenheit die auf Brandrodung zurückzuführenden Feuer außer Kontrolle geraten, wodurch es zu einer hohen Luftverschmutzung kam, die Atemwegserkrankungen auslöste. In Australien trug der El Niño zu Niederschlagsdefiziten im Südosten des Kontinents bei.

Nach Untersuchungen des Global Snow Lab der Rutgers Universität lag die Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre im Frühling bei 28,5 Millionen km², was den achtniedrigsten Wert seit Beginn der Messungen darstellt. Die USA hatten die viertgeringste Schneebedeckung, obwohl der Nordosten teilweise (Massachusetts, Boston und Worcester) sogar den schneereichsten Februar und Winter überhaupt verzeichnete.

Meereis

Der arktische Eisschild erreicht normalerweise sein Maximum im März und sein Minimum im September. Im Jahr 2015 wurde das Maximum bereits am 25. Februar erreicht, als mit 14,54 Mio. km² die geringste maximale Ausdehnung des Eises seit Beginn der Satellitenbeobachtungen im Jahr 1979 beobachtet wurde. Dieser Wert liegt um 1,1 Mio. km² unter dem Mittel von 1981-2010 und um 0,13 Mio. km² unter dem bisherigen Rekord aus dem Jahr 2011. Das Minimum des Meereises wurde am 11. September verzeichnet und betrug 4,41 Mio. km², das dem viertniedrigsten Minimum entspricht.

Tropische Wirbelstürme

Die Verteilung der tropischen Wirbelstürme wurde ebenfalls vom El Niño beeinflusst. 2015 entwickelten sich weltweit 91 tropische Wirbelstürme (Windgeschwindigkeiten ab 63 km/h) und damit etwas mehr als im Mittel

von 1981-2010 (85 Stürme). 11 dieser Stürme waren im Nordatlantik aktiv, davon entwickelten sich 4 zu einem Hurrikan (Windgeschwindigkeiten ab 118 km/h), 2 davon zu einem „Major Hurrikan“ (Windgeschwindigkeiten ab 178 km/h, ab Kategorie 3 der Saffir-Simpson-Skala). Diese Anzahl lag leicht unter dem vieljährigen Mittel, was für eine El Niño-Phase typisch ist.

Im Nordostpazifik war die Hurrikan-Aktivität dagegen verstärkt. Insgesamt traten 18 Stürme auf, wovon sich 13 zu einem Hurrikan verstärkten, im Vergleich zu 15 und 9 im vieljährigen Mittel. Ende August traten für 12 Stunden gleichzeitig 3 Hurrikane mit der Kategorie 4 (Saffir-Simpson-Skala) auf, was in einem Seegebiet zuvor noch nie beobachtet wurde. Der stärkste Hurrikan war PATRICIA mit einer Maximalgeschwindigkeit von 346 km/h. Er ging am 24. Oktober als Kategorie-5-Hurrikan mit 241 km/h in Mexiko an Land, glücklicherweise in einer Region, die nur spärlich besiedelt war. Im Nordwestpazifik gab es 27 Tropenstürme, von denen sich 18 zu einem Taifun intensivierten. Auch diese Anzahl überschritt den Mittelwert. Mit 11 Tropenstürmen traten im Südwestpazifik beinahe doppelt so viele auf wie im Mittel. Der Taifun PAM zerstörte im März 2015 einen großen Teil der Infrastruktur von Vanuatu, als er als Kategorie-5-Zyklone zunächst östlich vorbei und dann über die südlichen Inseln des Staates hinweg zog. Auf seiner weiteren Zugbahn waren auch die Inseln Tuvalu, Kiribati und die Salomon Inseln betroffen.

Im Indischen Ozean kam es zur Entwicklung von insgesamt 14 Wirbelstürmen, was in etwa dem jährlichen Durchschnitt entspricht. Hervorzuheben sind hier die Stürme KOMEN und CHAPALA. Ersterer entwickelte sich über dem Golf von Bengalen und zog dann in Richtung Bangladesch, wo er in Kombination mit dem Monsun für starke Überschwemmungen sorgte. CHAPALA war der erste tropische Wirbelsturm seit Beginn der Satellitenbeobachtungen, der mit Hurrikanstärke auf den Jemen traf.

Im Australischen Becken traten 7 Stürme auf gegenüber 10 im vieljährigen Mittel. Einer davon war MARCIA, die als Kategorie-5-Zyklone die stärkste war, die seit 1979 hier beobachtet wurde.

Quellen und weitere Informationen:

WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2015: WMO-No.1167, WMO Geneva 2016

Die folgenden Berichte sind im Internetauftritt des DWD unter dem Link <http://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/besondereereignisse.html> verfügbar:

Friedrich K, Imbery F, Haeseler S, Rösner S, 2016: Neuer Rekord der globalen Temperatur 2015 - Klimatologische Einschätzung global und national

Haeseler S, 2015: Kälte im Februar 2015 im Osten der USA

Haeseler S, 2015: Winter 2014/2015: global wärmster Winter mit extremer Kälte im Osten Nordamerikas

Haeseler S, 2015: Hitzewelle in Indien im Mai 2015

Haeseler S, 2015: Globaler Rückblick – Sommer 2015

Haeseler S, Ziese M, 2015: El Niño 2015/16 und seine klimatischen Folgen im Vergleich zu 1982/83 und 1997/98

Haeseler S, 2015: Die beiden schweren tropischen Wirbelstürme LAM und MARCIA treffen am 19./20. Februar 2015 auf die Küsten Australiens

Haeseler S, 2015: Taifun NOUL streift am 10. Mai 2015 mit extremer Intensität den Nordosten der Philippinen

Haeseler S, 2015: Hurrikan PATRICIA trifft im Oktober 2015 mit einer Stärke der Kategorie 5 auf die Pazifikküste Mexikos

Haeseler S, 2015: Zyklon CHAPALA trifft am 03.11.2015 mit Orkanstärke auf die Küste von Jemen

Lefebvre C, 2015: 13. März 2015 – Tropischer Wirbelsturm PAM verwüstet Vanuatu

Wittlich K-P, Ziese M, Becker A, 2015: Selbst am Ende der Regenzeit: Keine Entspannung für Dürreperiode in Kalifornien

Ziese M, Schneider U, Becker A, 2015: Hochwasserschäden durch beginnenden El Niño an Pazifikküste Südamerikas

Ziese M, Meyer-Christoffer A, 2015: Zerstörungen durch Unwetter im Raum Nizza und Cannes (Frankreich) – keine Fortsetzung der bisherigen Unwetterlage

Ziese M, Becker A, Fröhlich, K, 2015: El Niño 2015 – Erste Erkenntnisse und Ausblick

Ziese M, Becker A, 2015: Niederschlagsdefizit und Dürre verschärfen sich in Südost-Brasilien trotz der Februar-Niederschläge.

Langzeitliche Klimaänderungen in Frankfurt/Main

A. Hoy

Zusammenfassung: Die langjährigen Klimabeobachtungen für Frankfurt/Main stellen nicht nur regional im mitteldeutschen, sondern auch großräumig im deutsch-europäischen Kontext ein sehr wertvolles Datenmaterial zur Bewertung klimatischer Veränderungen dar. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit Veränderungen von Temperatur und Niederschlag seit 1870, für die Temperatur z.T. sogar seit 1758. Er beinhaltet eine ausführliche Diskussion des Datenmaterials und seiner Verwendbarkeit. Aus den anschließenden klimatologischen Auswertungen erschließt sich eine – im Kontext der vergangenen fast 260 Jahre – beispiellose Erwärmung in den vergangenen 30 Jahren (1986–2015). Neben den Mittelwerten werden hier auch Extreme von Winterkälte und Sommerwärme betrachtet, die gleichfalls bedeutenden Veränderungen unterworfen waren. Niederschlagsvariationen sind zeitlich und räumlich weniger stabil. Sie werden daher für ein Kollektiv von elf Stationen in und um Frankfurt in Bezug auf die Veränderungen von Mittel- und Extremwerten diskutiert.

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Datengrundlage und -qualität
 - 2.1 Anforderungen an Klimabeobachtungen
 - 2.2 Zeitreihen der Lufttemperatur Frankfurt/Main
 - 2.3 Zeitreihen des Niederschlags Frankfurt/Main
- 3 Lufttemperatur
 - 3.1 Säkulare Betrachtung (1758–2015)
 - 3.2 Jahresgang und Extremwerte (1870–2015)
 - 3.3 Winterkälte und Sommerwärme
- 4 Niederschlag
- 5 Schlussbemerkungen
- 6 Danksagung
- 7 Literatur

1 Einleitung

Der Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main ist das Zuhause für ca. 2,2 Millionen Menschen, in Frankfurt/Main selbst leben über 700.000 Einwohner. Die Stadt und ihr Umland beherbergen somit mehr als $\frac{1}{3}$ der Bevölkerung des Bundeslandes Hessen, umfassen aber nur 10 % der hessischen Fläche. Geografisch gesehen befindet sich die Region im westlichen Teil Mitteleuropas und ist im Verhältnis zu anderen, auf gleichen Breitengraden gelegenen Orten, durch vergleichsweise mildes, von atlantischen Tiefdrucksystemen beeinflusstes Klima geprägt. Allerdings grenzen die Höhenlagen des Taunus die Stadt und den Ballungsraum nach Nordwesten ab und schwächen – zusammen mit weiteren vorgelagerten Mittelgebirgen

– die vom Atlantik kommenden Niederschlagsgebiete soweit ab, dass die Region vergleichsweise trocken ist. Durch die schon etwas weiter vom Meer entfernte Lage von Frankfurt/Main wechseln maritim und kontinental beeinflusste Luftmassen recht häufig und bilden charakteristische, in jedem Jahr unterschiedlich ausgeprägte Witterungsabschnitte.

Die Frankfurter Wetterbeobachtungen rechtfertigen aus vielfältigen Gründen eine nähere Betrachtung – nicht nur für Mitteldeutschland, sondern auch bezogen auf Deutschland und Europa. Zum einen ergibt sich ein überdurchschnittliches Interesse an regionalklimatologischen Fragestellungen aufgrund der hohen Bevölkerungszahl der Region, zum anderen rechtfertigt vor allem die lange Historie der Frankfurter Wetteraufzeichnungen diese Auswertungen. Die längste Zeitreihe – die Rekonstruktion jährlicher Mittelwerte der Lufttemperatur – beginnt bereits im Jahre 1758 und umfasst damit inzwischen fast 260 Jahre. Diese Beobachtungsreihe wurde durch BRINCKMANN (2005) auf den heutigen Standort am Frankfurter Flughafen angepasst. Sie kann daher (unter Beachtung von Unsicherheiten) zur Bewertung langzeitlicher Klimaänderungen verwendet werden. Seit 1870 liegen für Frankfurt/Main Daten vieler Klimaelemente digital in täglicher Auflösung vor, die durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellt werden. In diesem Beitrag werden ausgewählte Aspekte dieser Datenreihen betrachtet, basierend auf den zwei wichtigsten Klimaparametern – Temperatur und Niederschlag.

2 Datengrundlage und -qualität

2.1 Anforderungen an Klimabeobachtungen

Meteorologische Daten sollen für ein größeres Gebiet repräsentativ sein und nicht lokale, standortspezifische Charakteristika widerspiegeln. Die Zeitreihen sollen die natürlichen Variationen von Wetter und Klima ausdrücken, möglichst ohne durch nicht-klimatologische Faktoren beeinflusst zu sein. Leider wird diese zentrale Anforderung nur in ganz wenigen Fällen vollständig erfüllt. Ein Beispiel, das diesem Ideal nahe kommt, ist die Säkularstation Potsdam-Telegrafenberg westlich von Berlin (<https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/telegraphenberg-d/suering-haus/sakularstation>), wo seit 1893 mit den gleichen Messinstrumenten, an gleichem Standort und nach einheitlichen Bedingungen gemessen wird.

Die meisten langen Zeitreihen sind allerdings durch verschiedene nicht-klimatologische Effekte beeinflusst, beispielsweise die Veränderung (Austausch/Verbesserung/Alterung) und räumliche Verlegung von

Messinstrumenten (incl. Veränderung der Messhöhen), Änderungen in den Beobachtungszeiten und -häufigkeiten, veränderte Beobachtungsregeln, Umstellung der Messeinheiten, Veränderungen im direkten Umfeld der Station (Pflanzen- und Baumwachstum) und weitere Faktoren (z.B. AUER et al. 2001; BRAZDIL et al. 2012). Der zunehmenden Urbanisierung, die zu einem künstlichen Temperaturanstieg insbesondere an innerstädtischen Standorten führt, wurde häufig durch eine Verlegung der Stationen an Stadtränder, ins Umland oder an die Flughäfen Rechnung getragen. Solche Verlagerungen beeinflussen die Zeitreihen allerdings mannigfaltig. Dies betrifft nicht nur die Mittelwerte, auch Extremwerte, die Standardabweichung oder der Jahresgang verändern sich dadurch. Die Zeitreihe der Stadt Frankfurt/Main ist durch viele der beschriebenen Effekte geprägt, die im Folgenden in knapper und nicht erschöpfender Form diskutiert werden sollen.

2.2 Zeitreihen der Lufttemperatur Frankfurt/Main

Die **jährliche Zeitreihe von 1758 bis 2015** wird zur Diskussion langzeitlicher Temperaturänderungen verwendet. Sie wurde von BRINCKMANN (2005) auf den gegenwärtigen Standort Frankfurt/Main-Flughafen angepasst (betrifft die Werte vor 1951; jährliche Reduktionszahl ca. 0,7 K). Anhand multipler Homogenitätstests stufen RAPP & SCHÖNWIESE (1996) die Frankfurter Reihe als „wahrscheinlich inhomogen“ ein, allerdings fallen laut SCHÖNWIESE (2015) die Zeiten mit Standortwechseln nicht durch eklatante Temperatursprünge auf. Die Beobachtungen der Lufttemperatur sind jedoch bis in die 1850er Jahre durch häufig wechselnde Instrumente und Aufstellungsorte gekennzeichnet (ZIEGLER & KÖNIG 1896; MOLLWO 1958). Durch messtechnische Schwächen (Glasalterung der Thermometer; WINKLER 2009) und mangelnde Abschirmung der Sonnenstrahlung (PARKER 1994; BÖHM et al. 2010) ist davon auszugehen, dass die in Kap. 3 präsentierten Daten bis nach Mitte des 19. Jahrhunderts etwas zu hoch liegen (SCHÖNWIESE 2015).

Die ersten, sporadisch vorliegenden Temperaturangaben aus Frankfurt beziehen sich zumeist auf sehr kalte Wintertemperaturen, etwa der Jahre 1695, 1709 und 1740 (ZIEGLER & KÖNIG 1896). Regelmäßige Aufzeichnungen der Lufttemperatur liegen von 1758 bis 1786 durch Beobachtungen des Kaufmanns Peter Meermann – vermutlich vorgenommen im heutigen Stadtzentrum – vor. Das von ihm benutzte Thermometer, das nicht mehr erhalten ist, hing immer außerhalb eines Fensters in Richtung Norden in freier Luft – bis 1766 im ersten, dann im zweiten Stockwerk. Es wurde täglich eine Messung von Maximum (14 oder 15 Uhr) und Minimum (im Bereich Sonnenaufgang, je nach Monat unterschiedliche Zeiten) vorgenommen (ZIEGLER & KÖNIG 1896, 1901). Die Jahresmittel bis 1786 basieren auf diesen und ggf. noch weiteren vorliegenden Messungen.

Mehrere Jahrzehnte ohne (oder mit nur unvollständigen Messungen) folgen (ausführlichere Informationen in ZIEGLER & KÖNIG 1896). Erst ab 1826 gab es wieder umfangreichere meteorologische Aufzeichnungen (MOLLWO 1958). Die jährliche Zeitreihe der Frankfurter Lufttemperatur liegt dennoch durchgängig seit 1758 vor, da der fehlende Zeitraum 1786 bis 1825 durch lineare Regression anhand der Zeitreihe der Deutschland-Flächenmittelwerte (RAPP 2000) geschlossen werden konnte (SCHÖNWIESE 2015).

Seit 1870 sind für verschiedene Standorte in der Frankfurter Innenstadt (siehe Tab. 1) Temperaturaufzeichnungen in täglicher Auflösung für Temperaturmittel, -minimum und -maximum vorhanden, an die ab 1870 die jeweils gültigen Instrumentenkorrekturen angebracht wurden (ZIEGLER & KÖNIG 1896; MOLLWO 1958). Bis 1879 wurde noch die Teilung nach $\frac{1}{5}^{\circ}$ Reaumur benutzt, dann durchgehend die Einheit $^{\circ}\text{C}$. Bis 1887 wurden die Thermometer an der Nordseite eines Gebäudes aufgestellt und nur durch kleine Schirme gegen Niederschläge und direkte Strahlung geschützt. Dieses Konstrukt wurde Ende 1887 durch einen drehbaren, allerdings nicht völlig geschlossenen Schutzbehälter ersetzt. Ab 1897 kam die bekannte (weiße, lamellierte) Englische Wetterhütte zum Einsatz. Die Mittelung der Lufttemperatur erfolgte zunächst anhand der Terminwerte 6, 14 und 22 Uhr Mitteleuropäische Zeit (MEZ), ab 1893 für die Werte 7, 14 und 21 Uhr MEZ¹ (ZIEGLER & KÖNIG 1896; MOLLWO 1958). Der dritte Messtermin ging dabei mit doppelter Gewichtung in die Berechnung ein.

Die Zeitreihe von 1870 bis 1950 ist bis auf den Zeitraum von März bis Mai 1945 lückenlos. Diese dreimonatige Lücke wurde in diesem Beitrag über die Daten der Station Darmstadt, 25 km südlich von Frankfurt/Main und 60 m höher gelegen, gefüllt². Die Darmstädter Werte liegen aufgrund des Höhenunterschiedes etwas unter denen von Frankfurt, die klimatischen Unterschiede zwischen beiden Stationen sind, basierend auf einem Vergleich mit anderen Frühjahrsmonaten späterer Jahre, aber statistisch vertretbar und weniger problematisch als eine Lücke in der Zeitreihe.

¹ Im Jahre 1987 wurden die Termine um eine halbe Stunden nach hinten verschoben (Änderung auf 7:30, 14:30, 21:30 Uhr MEZ)

² Die Station Darmstadt befand sich in diesem Zeitraum im Osten der Stadt auf einem flachen Hügel auf 180 m NN. Die Umgebung bestand aus Park- bzw. Garten- und Obstgelände (EISENHARDT 1968).

Zeitraum (Höhenlage)	Lagebeschreibung
1870-1907 (102m NN)	östlich des Eschenheimer Turms; begrenzt durch Bleichstr., Brönnnerstr., Stephanstr., Stiftstr.
1908-1925 (97/122m NN)	Robert-Mayer-Str.; Achtung: 1914-1925 auf 25m hoher Plattform über den Dächern!
Ab 1926 (103m NN)	Feldbergstraße
<i>alle Stadtbeobachtungen wurden bis 1961 im Gelände der Dr. Senckenbergischen Stiftung ausgeführt</i>	

Tab. 1: Standorte der täglichen Temperaturmessungen Frankfurt/Main Stadt 1870 bis 1950, basierend auf MOLLWO (1958)

Seit 1949 liegen tägliche Werte für die meteorologische Station am Frankfurter Flughafen vor, die ca. 10 km südwestlich des Stadtzentrums gelegen ist. In diesem Beitrag wird die Station (neben den Innenstadtwerten) ab 1951 verwendet. Ihr Standort lag bis zum 21. Oktober 2014 auf einer Höhenlage von 112 bzw. 113 m. Die Station befand sich zunächst in der Nähe von Terminal 2. Im Oktober 1956 erfolgte eine Verlegung der Station um einige hundert Meter nach Südosten. Eine weitere, sehr geringe Verlegung erfolgte im Juli 1984. Am 22. Oktober 2014 wurde der Standort von der Ost- zur Westseite des Flughafens verlegt, was auch einen Rückgang der Höhenlage um 12 m auf 100 m zur Folge hatte. Da in diesem Beitrag der Zeitraum bis 2015 (für saisonale Auswertungen bis September 2016) behandelt wird, wirkt sich diese Verlegung im klimatologischen Mittel nicht auf die nachfolgenden Auswertungen aus. Einzig die Einzelwerte nach dem Oktober 2014 könnten durch die Verlegung geringfügig beeinflusst sein.

Generell sind die Werte der Flughafenstation gegenüber der Innenstadtlage besonders wertvoll, da der Standort seit seiner Einrichtung kaum verändert wurde, während die Stadtstation weiterhin recht deutlichen Standortveränderungen unterworfen war (Tab. 2). So zog die Station zwischenzeitlich (12/1961 bis 8/1984) aus der nördlichen Innenstadt (Feldbergstraße³) in Richtung nördlicher Stadtrand (Wöhlerschule, Waldorfschule) um. Seit November 1985 befindet sie sich wieder in der Nähe ihres ursprünglichen Standortes. Die Zeitreihe am Flughafen ist außerdem lückenlos, während an der Stadtstation von September 1984 bis Oktober 1985 eine Lücke von 14 Monaten auftrat (für diese Lücke wurden hier die Flughafenwerte verwendet). Zusätzlich wurde mit der Verlagerung zum Flughafen der zunehmende Urbanisierungseffekt (künstlicher Temperaturanstieg) umgangen, wengleich in der kombinierten Innenstadt-Flughafen-Reihe dadurch 1951 ein Bruch zu tieferen Temperaturen zu verzeichnen ist, der in den täglichen Daten aufgrund des immensen Aufwandes nicht zu homogenisieren ist. Die **tägliche Zeitreihe von 1870 bis 2015** (für saisonale Auswertungen verwendet bis 2016) wird daher in zwei Ausprägungen verwendet: 1) bestehend nur aus den Werten der verschiedenen Standorte der Innenstadt bzw.

2) als Kombination von Innenstadt (bis 1950) und Flughafen (ab 1951). Die Reihen sind nicht homogenisiert. Falls Datenqualitätsaspekte die klimatische Interpretation beeinflussen, werden sie in Kap. 3 diskutiert.

Der Einfluss der städtischen Wärmebelastung wurde durch FRÜH et al. (2011) am Beispiel Frankfurt/Main im Vergleich mit den Flughafenwerten ab 1950 untersucht. Sie zeigen eine deutliche Beeinflussung der jeweiligen Stadtstandorte durch Bebauungsdichte und Grünflächenanteil. Kaum eine Überwärmung trat dabei am Standort Waldorfschule auf – ein lokaler Effekt, hervorgerufen durch den Kühleffekt einer nahegelegenen kleinen Grünfläche und der leichte Senkenlage des Standortes. Die stärkste Überwärmung wurde hingegen am Standort Feldbergstraße – inmitten sehr dichter Bebauung gelegen – beobachtet.

³ Am Standort Feldbergstraße wurde (inoffiziell) durch das Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt bis 1994 weiterhin gemessen (GRIESEL 1988; SCHÖNWIESE, mündliche Mitteilung). Diese Werte liegen für diesen Beitrag allerdings nicht vor.

Lage	Zeitraum	Höhe	Charakteristik	DWD#
Feldbergstraße	1951-11/1961	109 m	Sehr dichte Bebauung	1425
Wöhlerschule	12/1961-3/1973	125 m	Dichte Bebauung	1421
Waldorfschule	4/1973-8/1984	125 m	Lockere Bebauung, Grünflächenrand, kl. Senke	
Palmengarten	11/1985-7/2008	107 m	Parkanlage mit Gewächshäusern, straßennah	1424
Unicampus Westend	Seit 8/2008	124 m	Kleine Parkanlage, lockere Bebauung	

Tab. 2: Metadaten der meteorologischen Messungen in Frankfurt/Main Stadt ab 1951; basierend auf FRÜH et al. (2011), dem Klimadatenzentrum des Deutschen Wetterdienstes (<ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>) und eigenen Recherchen; DWD# = DWD Stationsidentifikationsnummer

Da sich auch die früheren Standorte seit 1870 (siehe Tab. 1 und Lageplan in WACHTER 1939) im dicht bebauten Innenstadtbereich befanden, ist dort von einer ähnlich starken Überwärmung wie zu späteren Zeiten auszugehen. Das bedeutet, dass die Flughafenwerte in der Analyse der täglichen Temperaturen ab 1951 analog den in Abb. 1 gezeigten Mittelwerten (zumeist) niedriger liegen. Gegenüber den seit 1870 gemessenen Werten ist also 1951 zunächst ein künstlicher Rückgang der Minima um ca. 1,5 K⁴, der Mittelwerte um ca. 0,7 K und der Maxima um ca. 0,5 K anzunehmen. Die Abweichungen zwischen Flughafen und Stadt sind, vor allem bezogen auf das Temperaturminimum, im Winter und Frühling am größten und im Sommer am geringsten. In Strahlungsnächten und in auf sehr starke Strahlungstage folgenden Nächten sind dabei überdurchschnittlich große Unterschiede zwischen den Stationen zu erwarten. Dies zeigt sich an den systematisch höheren Temperaturminima an den Stadtstationen: die im Stadtbereich (Straßen, Gebäude) tagsüber gespeicherte Wärme wird nachts abgestrahlt und reduziert damit die nächtliche Abkühlung. Dieser Effekt wird als „städtische Wärmeinsel“ bezeichnet. Auch Hitzekenntage treten an der Feldbergstraße von 1950 bis 1961 deutlich häufiger als am Flughafen auf (Sommertage: +11 Tage; heiße Tage: +3,4 Tage; Tropennächte: +0,6 Tage; FRÜH et al. 2011). Die Differenzen zwischen den späteren Stadtstandorten und der Station am Flughafen waren und sind deutlich geringer, am Standort Walddorfschule traten Sommer- und heiße Tage sogar seltener als am Flughafen auf (FRÜH et al. 2011). Diese Ausführungen sind bei der Interpretation der in Kap. 3 gezeigten, auf Tagesbasis basierenden Abbildungen, zu beachten.

Im Zuge der Automatisierung des DWD-Messnetzes fand in den letzten Jahrzehnten eine Umstellung der Messverfahren von konventionellen zu automatisierten Datenerfassungsmethoden statt. Im Zuge dieser Umstellung werden die täglichen Mittelwerte der Lufttemperatur seit 1. April 2001 auf stündlicher Basis (24 Werte/Tag ersetzen die bisherigen drei Terminwerte) berechnet (KASPAR & HANNAK 2016). An den Klimareferenzstati-

onen des Deutschen Wetterdienstes wurde der Einfluss der veränderten Messverfahren auf die Homogenität der Zeitreihen daraufhin umfangreich untersucht (AUGTER 2013). Dabei zeigten sich nur sehr geringe Effekte der a) Umstellung der Messtechnik (Differenz im Mittel -0,03 K) und b) der neuen Berechnungsmethodik der Tagesmittelwerte (Differenz im Mittel -0,08 K) auf das Tagesmittel der Lufttemperatur. Eine relevante künstliche Beeinflussung der Zeitreihen der mittleren Lufttemperatur durch die Automatisierung der Messungen kann also ausgeschlossen werden (KASPAR & HANNAK 2016). Bezogen auf maximale und minimale tägliche Temperaturen liefern die neuen Messverfahren bei hohen Maxima etwas größere, bei niedrigen Minima etwas geringere Werte als die konventionellen Messungen. Die mittleren Differenzen der Tageswerte sind in beiden Fällen aber ebenfalls marginal (0,01 K für das Temperaturmaximum, 0,04 K für das Temperaturminimum; AUGTER 2013).

⁴Temperaturänderungen werden generell in Kelvin (K) angegeben. Ein Kelvin (K) entspricht einem Grad Celsius (°C).

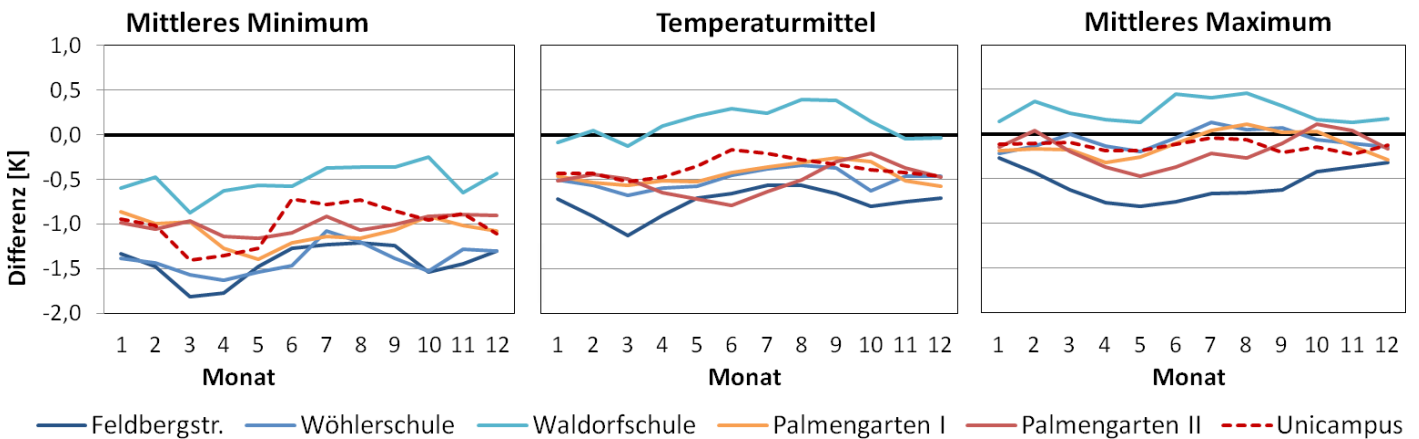


Abb. 1: Vergleich der monatlichen Mittelwerte der Lufttemperatur verschiedener Standorte der Frankfurter Innenstadtstation mit den Werten der Station Frankfurt-Flughafen (siehe Tab. 2); Standort Palmengarten für Vergleichszwecke mit den anderen Stationen in zwei ähnlich lange Perioden getrennt: 11/1985 bis 1996 (I) und 1997 bis 7/2008 (II)

2.3 Zeitreihen des Niederschlags Frankfurt/Main

Die Niederschlagsverteilung ist durch eine weit größere räumliche Heterogenität als die der Temperatur gekennzeichnet. Während letztere, an einem repräsentativen Standort gemessen, für ein größeres Gebiet sowohl in ihren Mittel- als auch Extremwerten aussagekräftig ist, so ist dies beim Niederschlag nur sehr eingeschränkt der Fall. Eine homogene Datenreihe vorausgesetzt, kann eine Zeitreihe des Niederschlags halbwegs aussagekräftige Mittelwerte für ein größeres, topographisch nicht allzu gegliedertes Gebiet abseits großer Wasserflächen bereitstellen. Eine Aussage zur zeitlichen Entwicklung von Intensität und Häufigkeit von Extremereignissen ist anhand von Punktmessungen nur (und auch das nur eingeschränkt) über die Einbeziehung möglichst vieler Stationen möglich, da insbesondere Konvektive Ereignisse große Unterschiede in der Niederschlagsverteilung in kleinen Gebieten generieren. Da im Fall der langen Frankfurter Klimazeitreihe (tägliche Werte seit 1870) aufgrund der vielen Änderungen der Messbedingungen keine Homogenität der Zeitreihe gegeben ist, werden weitere, im Raum Frankfurt gelegene Niederschlagsstationen in die Auswertungen mit einbezogen.

Die Standorte der langen Reihe ab 1870 entsprechen denen, die bereits in Kap. 2.2 für die Temperatur diskutiert wurden. Analog beziehen sich die Daten bis 1950 auf den Standort Frankfurt-Stadt (Tab. 1), ab 1951 zumeist auf den neuen Standort am Flughafen. Aufgrund der häufigen Wechsel der Beobachtungsstandorte der Stadtstation nach 1951 (Tab. 2) wird für langzeitliche Betrachtungen ab 1870 nur die kombinierte Innenstadt-Flughafen-Zeitreihe verwendet.

Die weiteren in diesem Beitrag verwendeten Niederschlagsstationen sind in Tab. 3 beschrieben. Die genaue räumliche Lage ergibt sich aus den in Kap. 4 gezeigten Karten. Bei der Auswahl der in und um Frankfurt gelegenen Stationen wurden bewusst nur die unmittelbar im

Ballungsraum gelegenen Tieflandgebiete (80 bis 130 m NN) selektiert. Eine Einbeziehung der umliegenden Mittelgebirgs- und Hügellandgebiete, insbesondere des Taunus, wäre aus wissenschaftlicher Sicht spannend, würde aber an dieser Stelle eine zu große Ausweitung des Themas bedeuten. Eine inzwischen etwas antiquierte Abhandlung zu starken Niederschlägen in der Region ist in ANIOL (1954) zu finden. Die Bachelorarbeit von HIEN (2012) beschäftigt sich mit dem Höhengradienten von Niederschlägen in der Taunusregion.

Die Bestimmung der Niederschlagshöhe erfolgt generell in den Morgenstunden. Bis 31. März 2001 wurde sie in den alten Bundesländern um 7:30 Uhr MEZ (bis 1986: 7:30 Uhr Mittlere Ortszeit) gemessen, danach um 6:50 MEZ. Abweichungen von dieser Praxis sind an den hier verwendeten Stationen nicht bekannt. In den frühen Jahren wurde in Frankfurt/Main ein Regenschirm nach Mahlmann verwendet, der ab 1885 durch einen Regenschirm nach Hellmann mit 200 cm² Auffangfläche (Messung 1 m über der Erdoberfläche) ersetzt wurde (ZIEGLER & KÖNIG 1896). Insbesondere seit der Jahrtausendwende wird die Niederschlagsmenge an mehr und mehr Stationen vollständig elektronisch erfasst. Im Vergleich konventioneller, manueller Messungen mit automatischen Erfassungsmethoden wurde von AUGTER (2013) eine Tendenz zu leicht geringeren Niederschlagsmengen bei den Automatenwerten festgestellt. Für Frankfurt/Main Flughafen waren die Abweichungen der Jahressumme zwischen beiden Messmethoden in den beispielhaft untersuchten Jahren 2009 (-7 mm) und 2010 (+1 mm) jedoch marginal (AUGTER 2013).

Standort	Höhe	Zeitraum	Beobachtungslücken	1951-2000	DWD#
F-Flughafen	100 m	1949-2016	keine	100,0 %	1420
F-Stadt	124 m	1870-2016	3-5/1945; 9/1984-10/1985; 3-4/2000	97,3 %	1421/1424
F-Praunheim	113 m	1931-2004	1945 & 1946	100,0 %	1418
F-Sindlingen	95 m	1951-10/1995		88,8 %	1419
Mühlheim	102 m	1941-2016	1945 & 1946; 6-12/2002	100,0 %	3136
Offenbach	110 m	11/1957-10/1995	11/1977-11/1979	71,8 %	3776
Hanau-Großauheim	102 m	1951-02/1996	keine	90,3 %	2001
Hattersheim	88 m	1951-11/2003	keine	100,0 %	2061
Sulzbach	124 m	1951-2013	keine	100,0 %	4957
Heusenstamm	128 m	1941-04/2000	1945 & 1946	98,7 %	2194
Neu-Isenburg	130 m	1941-2008	1945 & 1946; 6-12/1987	98,2 %	3474

Tab. 3: Metadaten der verwendeten Niederschlagsstationen (Höhe: in m NN; 1951-2000: Datenabdeckung im in Kap. 4 verwendeten Kernzeitraum); DWD# = DWD Stationsidentifikationsnummer

3 Lufttemperatur

3.1 Säkulare Betrachtung (1758-2015)

Die langzeitliche Entwicklung der Lufttemperatur im Raum Frankfurt/Main wird zunächst für die seit 1758 vorliegende, auf den heutigen Standort am Flughafen von BRINCKMANN (2005) angepasste Zeitreihe dargestellt (Abb. 2). Die deutliche Jahr-zu-Jahr-Variabilität überlagert bis in die 1980er Jahre langzeitliche Trendentwicklungen. Die kältesten Jahre wurden am Ende der „Kleinen Eiszeit“ zum Anfang und in der Mitte des 19. Jahrhunderts beobachtet. Beachtenswert ist, dass die aufgezeichneten Werte aufgrund von Qualitätsproblemen der Messungen bis Mitte des 19. Jahrhunderts tendenziell etwas zu hoch liegen (Kap. 2.2), also gegenüber den heutigen Werten tatsächlich wohl noch etwas kälter waren.

Die mit Abstand wärmsten Jahre traten allesamt in den vergangenen 30 Jahren auf. 24 der 28 Jahre seit 1988 waren (zumeist deutlich!) wärmer als jedes andere Jahr in den 230 Jahren zuvor – ein Signal regional sehr deutlicher Klimaveränderungen. Das jährliche Temperaturmittel stieg dabei von 9,7°C in der Klimanormalperiode 1961-1990 auf 10,8°C in den vergangenen 30 Jahren 1986-2015 an. Dieser Anstieg ist absolut außergewöhnlich, da die Schwankungsbreite der 30-jährigen gleitenden Mittelwerte bis in die 1980er Jahre nur bei einem Kelvin lag (8,6°C bis 9,6°C). Diese 230 Jahre gültige Spannweite wurde nun innerhalb einer 30-jährigen Klimaperiode mehr als verdoppelt.

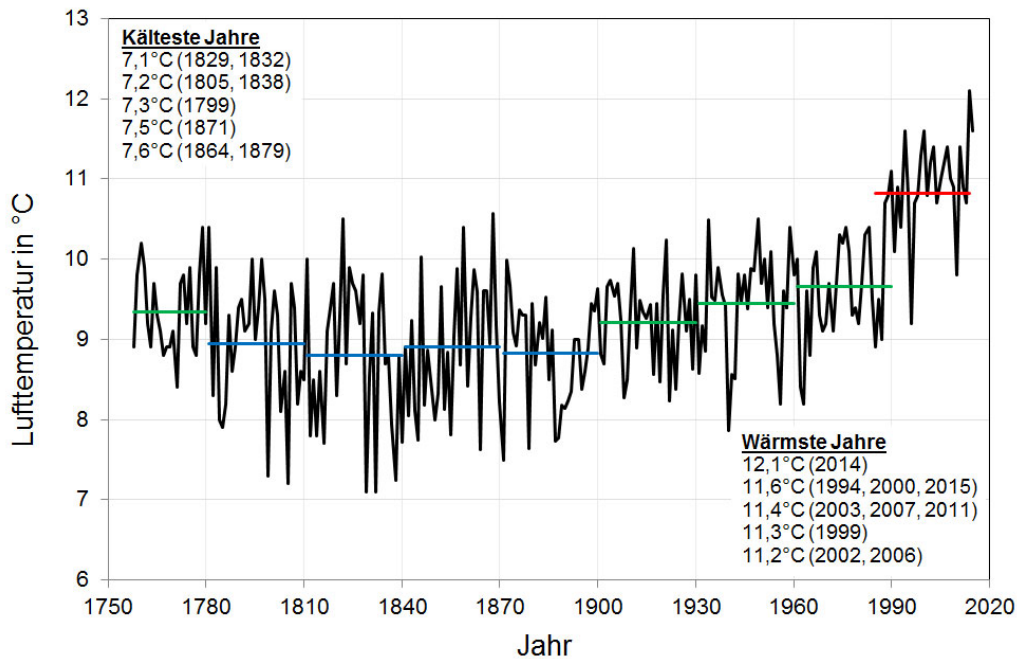


Abb. 2: Jahresmitteltemperatur für Frankfurt/Main Flughafen für 1758–2015 auf Basis der auf den heutigen Standort angepassten Daten von BRINCKMANN (2005), aktualisiert von SCHÖNWIESE (2015); farbige Linien: jeweilige 30-jährige Mittelwerte der Klimanormalperioden (Ausnahme: 1758–1780 und aktuelle Periode 1986–2015)

3.2 Jahresgang und Extremwerte (1870–2015)

Die Ausführungen der Kap. 3.2 und 3.3 beziehen sich 1) auf die Zeitreihe täglicher Werte, zusammengesetzt aus der Frankfurter Innenstadtstation (bis 1950) und dem Standort am Flughafen (ab 1951), bzw. 2) auf eine parallele Betrachtung der Werte ab 1951 für die jeweiligen Stadtstandorte (Tab. 2) und den Flughafen. Bei Betrachtung der zusammengesetzten Innenstadt-Flughafen-Zeitreihe ist der in den vergangenen Jahrzehnten beobachtete Temperaturanstieg gegenüber der Vorkriegszeit methodisch bedingt etwas weniger sichtbar als an anderen Standorten (Kap. 2.2).

In Tab. 4 ist die Temperaturstatistik der Klimanormalperiode 1961–1990 und der vergangenen 30 Jahre 1986–2015 für die Flughafenstation dargestellt. Der Januar ist in Frankfurt der im Durchschnitt kälteste Monat, auch wenn er einer der Monate mit der stärksten Erwärmungsrate ist und dadurch der Unterschied zu den beiden anderen Wintermonaten inzwischen etwas geringer ausfällt. Der Juli ist, dicht gefolgt vom August, der wärmste Monat des Jahres. Der Jahresgang beträgt ca. 18 K und blieb im Vergleich beider Perioden durch die gleichzeitig starke Winter- und Sommererwärmung relativ unverändert.

Tab. 4 zeigt außerdem die Temperaturwerte der kältesten und wärmsten Tage und Monate sowie das Jahr ihres Auftretens seit 1870 (kombinierte Stadt-Flughafen-Zeitreihe). Das niedrigste Temperaturminimum trat mit $-23,8^{\circ}\text{C}$ am 19. Januar 1940 auf (2. Platz: $-22,2^{\circ}\text{C}$ am 27.1.1942; 3. Platz: $-21,6^{\circ}\text{C}$ am 13.1.1968), die kältesten Monate waren Januar 1942, Februar 1956 und Dezember 1879.

In ZIEGLER & KÖNIG (1901) sind die jährlich tiefsten Wintertemperaturen seit 1755 (mit einigen Lücken von 1777 bis 1790) angegeben. Diese lagen z.T. noch deutlich unter den ab 1870 gemessenen Werten (Minimum: $-27,9^{\circ}\text{C}$ am 2.2.1830).

Das höchste Temperaturmaximum erreichte der 5. Juli 2015 mit $38,8^{\circ}\text{C}$, ganz knapp gefolgt vom 7. August des gleichen Jahres und dem 9. August 2003 (jeweils $38,7^{\circ}\text{C}$). In der Frankfurter Innenstadt lag das Allzeitmaximum – auch bei Berücksichtigung der in ZIEGLER & KÖNIG (1901) seit 1755 angegebenen höchsten Sommertemperaturen – bis 2014 übrigens mit $38,4^{\circ}\text{C}$ (9.8.2003) niedriger als am Flughafen ($38,7^{\circ}\text{C}$, ebenfalls am 9.8.2003). 2015 wurde dieser Wert allerdings zweimal deutlich überschritten: am 5. Juli mit $39,0^{\circ}\text{C}$ und noch deutlicher am 7. August mit $39,6^{\circ}\text{C}$!

Der tägliche Verlauf von Mittel- und Extremwerten der Lufttemperatur ist in Abb. 3 im Jahresgang für die kombinierte Stadt-Flughafen-Zeitreihe für 1870–2015 dargestellt. Auffällig ist, dass die Standardabweichung der mittleren Lufttemperatur im Winter größer und im Sommer kleiner ist als der Abstand zwischen mittlerem Minimum und Maximum. Die im Winter im Vergleich zum Sommer höhere Standardabweichung ist durch stärkere Jahr-zu-Jahr-Schwankungen in der kalten Jahreszeit bedingt. So beträgt der Unterschied zwischen der seit 1870 gemessenen niedrigsten ($-18,0^{\circ}\text{C}$) und höchsten Tagesmitteltemperatur im Winter ($14,2^{\circ}\text{C}$) 32,2 K, während er im Sommer nur 22,5 K beträgt (Extremwerte $8,1^{\circ}\text{C}$ und

		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1961–1990	°C	0,7	1,8	5,2	9,2	13,7	17,1	18,9	18,3	14,8	9,8	4,7	1,8	9,7
1986–2015	°C	2,2	2,8	6,5	10,7	15	18,1	20,1	19,7	15,2	10,6	5,9	3	10,8
Tägl. Maximum	°C	16,2	19	24,7	30,5	34,8	38,2	38,8	38,7	34,6	28	20	16,5	38,8
	Jahr	1877	1900	1968	1949	1892	1947	2015	2003	1911	1985	1899	1915	2015
Wärmste Periode	°C	6,1	7,5	9,3	14,3	17,9	21,9	24	23,7	18,6	13,4	9,1	7,2	12,1
	Jahr	2007	1926	1938	2007	1917	2003	2006	2003	1999	2006	1994	2015	2014
Tägl. Minimum	°C	-23,8	-21,5	-13	-7,1	-2,8	0,1	2,8	2,5	-0,3	-6,2	-12,7	-18,7	-23,8
	Jahr	1940	1929	1963	1986	1960	1975	1984	1978	1979	1912	1915	1879	1940
Kälteste Periode	°C	-8,1	-8	0,6	6,4	10,6	12,9	15,8	15,2	10,8	6	0,7	-7,9	8,2
	Jahr	1940	1956	1883	1903	1902	1923	1919	1924	1912	1881	1921	1879	1871
	Jahr	1940	1956	1883	1903	1902	1923	1919	1924	1912	1881	1921	1879	1956
	Jahr	1940	1956	1883	1903	1902	1923	1919	1924	1912	1881	1921	1879	1963

Tab. 4: Temperaturstatistik von Frankfurt/Main für 1870–2015 (bis 1950: Innenstadt; ab 1951: Flughafen); Mittelwerte für die Zeiträume 1961–1990 und 1986–2015 und Extremwerte mit den Jahren ihres Auftretens

30,6°C). Der Unterschied der täglichen Höchst- und Tiefsttemperaturen ist aufgrund des höheren Sonnenstandes in Frühling und Sommer andererseits deutlich größer als in Herbst und Winter (z.B. Mai: 10,8 K; Dezember: 4,7 K).

Beim Vergleich der vergangenen 30 Jahre mit der Gesamtperiode (vgl. schwarze mit grüner Linie) ist in allen Jahreszeiten ein z.T. deutlicher Temperaturanstieg erkennbar. Der Jahresgang beider Zeiträume ist dennoch vergleichbar, von der deutlich stärkeren „Zappeligkeit“ der rezenten Kurve aufgrund des kürzeren Mittelungszeitraums abgesehen. Die im langjährigen Durchschnitt (1870–2015) höchsten Temperaturen treten am Monatswechsel von Juli zu August auf (den sog. „Hundstagen“), die tiefsten Temperaturen um Mitte Januar (dem sog. „Hochwinter“). Letztere Singularität, oder Witterungsregelfall, ist in den vergangenen Jahrzehnten (1986–2015) allerdings durch eine sehr milde winterliche Periode ersetzt worden.

In der langen Mittelungsperiode von 1870 bis 2015 sind bekannte Singularitäten wie die Eiseiligen oder das Weihnachtstauwetter kaum sichtbar, was letztlich auf die Vergänglichkeit dieser Erscheinungen hindeutet. Witterungsregelfälle ergeben sich aus der Verteilung der Großwetterlagen – da diese langfristig nicht konstant ist, kann sich eine in einem bestimmten Zeitraum sehr dominante Singularität in der folgenden Periode durch-

aus in ihr Gegenteil verkehren. Belastbare Prognosen des Witterungsverlaufes lassen sich daraus jedenfalls nicht ableiten. Die in den vergangenen Dekaden – mit Abstand – eindrucksvollste Singularität ist der deutliche Wärmesprung Ende April, der seit 1992 in fast jedem Jahr beobachtet wurde. 2016 war es hier im Zuge einer längeren Phase polaren Luftmasseneinflusses das erste Mal seit 25 Jahren wieder deutlich zu kühl. Ob dies ein Ausreißer oder ein Trendwechsel war werden die kommenden Jahre zeigen.

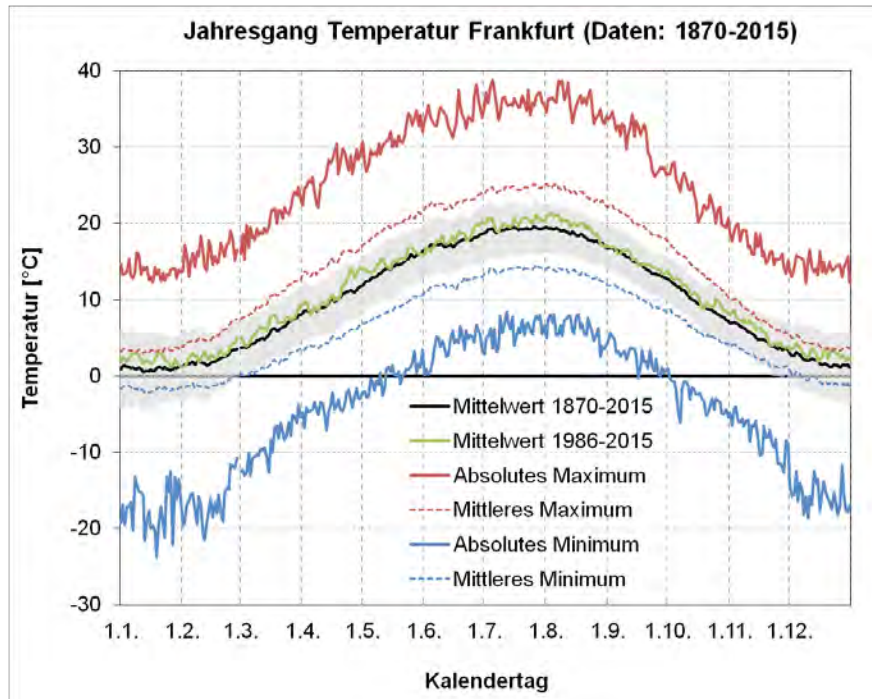


Abb. 3: Innerjährlicher täglicher Verlauf von Mittel- und Extremwerten der Lufttemperatur (1870–2015; bis 1950: Innenstadt; ab 1951: Flughafen); graue Fläche: Standardabweichung Mittelwert 1870–2015

Ein weiterer Nachweis für die Verschiebung der Temperaturverhältnisse in Richtung wärmerer Bedingungen ergibt sich aus der Betrachtung der täglichen Kälte- und Wärmerekorde im Untersuchungszeitraum 1870–2015 (Abb. 4). Dazu wurden zunächst für jeden Kalendertag die niedrigsten und höchsten Werte im 146-jährigen Zeitraum ermittelt. Daraus ergaben sich je 365 Rekordwerte, verteilt über den Gesamtzeitraum 1870–2015. Um standortbedingte Effekte in der langfristigen Entwicklung ausschließen zu können, sind hier zwei Zeitreihen dargestellt – einmal die der Frankfurter Innenstadt und einmal die der kombinierten Reihe Innenstadt-Flughafen.

In einem stationären Klima sollte die Verteilung der Rekordwerte über die Zeit weitgehend konstant sein. Größere Auffälligkeiten – insbesondere bei Mittelung über einen längeren Zeitraum sichtbar (hier dargestellt das 11-jährig gleitende Mittel) – deuten hingegen auf Veränderungen einer Messreihe hin, die entweder klimatisch bedingt sind oder künstlich in die Reihe hineingetragen wurden (z.B. veränderte Standortbedingungen). Abb. 4 zeigt, dass beide Zeitreihen (Frankfurt Innenstadt und Innenstadt/Flughafen) in ihrer Entwicklung langfristig weitgehend übereinstimmen. Einzig der zwischenzeitliche Anstieg der Kälterekorde in den 1950er und 1960er Jahren der kombinierten Reihe ist auf die Standortverlagerung von der Innenstadt zum Flughafen zurückzuführen. Der langfristig zu beobachtende Rückgang der Kälte- und Anstieg der Wärmerekorde – der besonders deutlich am Ende der Zeitreihe sichtbar wird – ist hingegen mit den ansteigenden Mitteltemperaturen zu erklären. Nach 1987 traten nur noch an wenigen Tagen Kälterekorde auf, während die warmen Extreme seit den 1990er Jahren

etwa dreimal so häufig wie statistisch erwartbar vorkamen. Insbesondere die Wärmerekorde lassen daher eine deutliche Veränderung des Temperaturregimes in Frankfurt/Main in den rezenten 2-3 Jahrzehnten erkennen, die in den vergangenen 156 Jahren ohne Vergleich ist. Diese Veränderung ist aufgrund der großräumigen Repräsentativität der Lufttemperatur auch für einen größeren Raum (Rhein-Main-Region und generell Mitteleuropa) charakteristisch.

3.3 Winterkälte und Sommerwärme (1870–2016)

Winter und Sommer haben im Gegensatz zu den Übergangsjahreszeiten das höchste Potenzial für sehr niedrige bzw. hohe Temperaturen. Dieses Potenzial wird aber nur selten ausgeschöpft – wenn, dann aber z.T. mehrfach in einer Saison. So wurden in der Frankfurter Innenstadt von 1870 bis 2014 nur in drei Jahren, an insgesamt vier Tagen, extrem heiße Sommertemperaturen über 38°C gemessen – im Sommer 2015 kam dies jedoch gleich dreimal vor (4. und 5. Juli, 7. August). Seit 1870 wurden ebenfalls nur siebenmal Temperaturen unter -20°C gemessen – drei Tage davon traten jedoch innerhalb nur einer Woche auf (18., 19. und 23. Januar 1940). An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass Temperaturen unter -20°C in den (zur „Kleinen Eiszeit“ gehörenden) Jahren zwischen 1755 und 1870 im Vergleich zum 20. und 21. Jahrhundert auch in Frankfurt/Main recht häufig vorkamen. Temperaturen von z.T. deutlich unter -25°C traten in der Frankfurter Innenstadt bereits von Ende Dezember (-25,5°C am 30.12.1783) bis nach Mitte Februar (-27,5°C am 18.2.1827) auf (ZIEGLER & KÖNIG 1901).

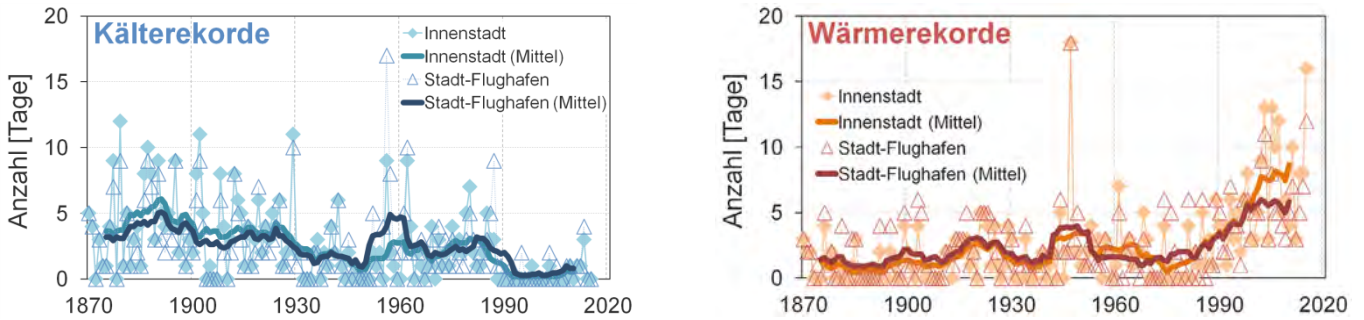


Abb. 4: Verteilung der je 365 Kälte- und Wärmerekorde der Tagesmitteltemperatur im Zeitraum 1870–2015 (ein Rekord pro Kalendertag = 365 Rekordwerte); Linien: 11-jährig gleitende Mittelwerte; türkis-/orangefarbige Markierungen/Linien beziehen sich auf die Zeitreihe Frankfurt-Innenstadt, blau-/rotfarbige Markierungen/Linien auf die Kombination Innenstadt bis 1950/Flughafen ab 1951.

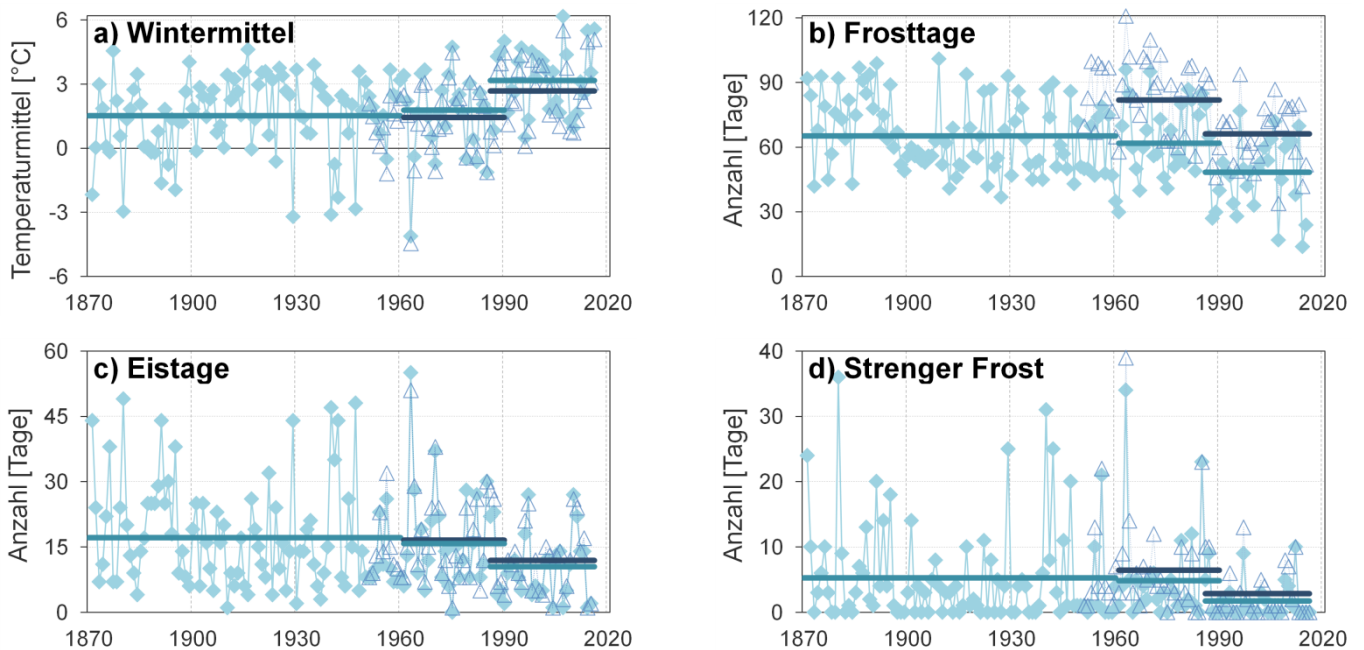


Abb. 5: Übersicht verschiedener Temperaturkenntage zur Charakterisierung der Winterkälte für 1870/71–2015/16; Linien: 11-jährig gleitende Mittelwerte; türkisarbene Markierungen/Linien beziehen sich auf die Zeitreihe Frankfurt-Innenstadt, blaue Markierungen/Linien auf die Kombination Innenstadt bis 1950/Flughafen ab 1951; Mittelwerte 1870–1960, 1961–1990 und 1986–2015; Wintermittel: Dezember, Januar, Februar; Anzahl Kenntage: Summe Juli bis Juni für Frosttage (Minimum $<0^{\circ}\text{C}$), Eistage (Maximum $<0^{\circ}\text{C}$) und Tage mit strengem Frost (Minimum $\leq -10^{\circ}\text{C}$)

Die Abb. 5 und 6 zeigen anhand von vier beispielhaft ausgewählten Parametern die Entwicklung von Winterkälte und Sommerhitze seit 1870. Um den Effekt der Stationsverlegung von der Innenstadt zum Flughafen zu quantifizieren und Fehlinterpretationen zu vermeiden, sind ab 1951 zwei Zeitreihen dargestellt: die Innenstadtreihe (türkis bzw. orange; Standorte wie in Tab. 2 beschrieben) und die Flughafenreihe (ab 1951 in blau bzw. rot). Zur besseren Interpretierbarkeit werden zusätzlich Mittelwerte über folgende Perioden dargestellt: 1870–1960, 1961–1990 und 1986–2015.

Die durchschnittliche Wintertemperatur zeigte bis in die 1960er Jahre ein deutlich höheres Potenzial für kalte als für warme Ausreißer (Abb. 5a). Seit dem (in der Innenstadt und am Flughafen nahezu gleich kalten) kältesten Winter der Zeitreihe, 1962/63, – also seit mehr als 50 Jah-

ren – wurden im Rhein-Main-Gebiet keine extrem kalten Winter mit einem Mittelwert von deutlich unter 0°C mehr beobachtet. Das Potenzial für Ausreißer liegt seitdem eher auf der warmen Seite. Der wärmste Winter war an beiden Standorten die Saison 2006/07. Die häufig als kalt empfundenen Winter zu Beginn der 2010er Jahre waren kaum kälter als ein durchschnittlicher Winter bis in die 1980er Jahre.

Seit den 1990er Jahren ist die mittlere Wintertemperatur deutlich angestiegen (Abb. 5a). Gleichzeitig ging die Anzahl der kalten Kenntage klar zurück (Abb. 5b-d). An Frosttagen liegt die minimale Temperatur unter 0°C , an Tagen mit strengem Frost unter -10°C . An Eistagen bleibt die Höchsttemperatur unter 0°C . Die Differenzen zwischen Innenstadt und Flughafen treten dabei bei Verwendung der Temperaturminima (Abb. 5b, d) deutlich

stärker hervor als bei Nutzung von täglichen Mittelwerten und Maxima (Abb. 5a, c). Frosttage weisen die größten standortbedingten Unterschiede auf. Die Änderungssignale zwischen 1961-1990 und 1986-2015 sind an beiden Standorten - bei allen Parametern - jedoch sehr gut miteinander vergleichbar. Insbesondere die Anzahl der Eistage (um ca. $\frac{1}{3}$) und der Tage mit strengem Frost (um mehr als die Hälfte) nahmen zwischen beiden Zeiträumen stark ab.

Bezogen auf die mittleren sommerlichen Temperaturverhältnisse (Abb. 6a) traten sehr kalte Ausreißer seit 1870 nicht auf - die mittleren Temperaturen lagen immer über 16°C. Einzelne Sommer wiesen jedoch sehr warme mittlere Bedingungen auf, namentlich 1947 (verglichen mit den Jahren vor 1991) und 2003. Absolut bemerkenswert - und im Gegensatz zum Winter nicht durch Jahr-zu-Jahr-Schwankungen überlagert - ist der um das Jahr 1990 beobachtete Temperatursprung. Sowohl in der Innenstadt als auch am Flughafen gab es seit dem Jahr 1988 keinen einzigen Sommer mehr, der kühler war als die langjährigen Mittelwerte (sowohl 1870-2015 als auch 1961-1990). Die Sommer der Periode 1986-2015 sind am Flughafen (rot) ca. 1,5 K wärmer als im Referenzzeitraum 1961-1990, und noch etwas mehr in der Innenstadt (orange; stärkerer Anstieg möglicherweise durch Urbanisierungseffekt).

Das gleiche Bild zeigt sich an beiden Standorten in sehr ähnlicher Form bezüglich der Überschreitung bestimmter Schwellenwerte des Temperaturmaximums (Abb. 6b, c).

Der Anstieg der Jahressumme tropischer Nächte (Abb. 6d) mit Minima über 20°C ist ebenfalls außergewöhnlich - der deutliche Unterschied zwischen Innenstadt und Flughafen ist auf die stärkere Bebauung im Frankfurter Stadtgebiet zurückzuführen, die die Wärme des Tages im Vergleich zu größeren freien Flächen viel länger speichern kann.

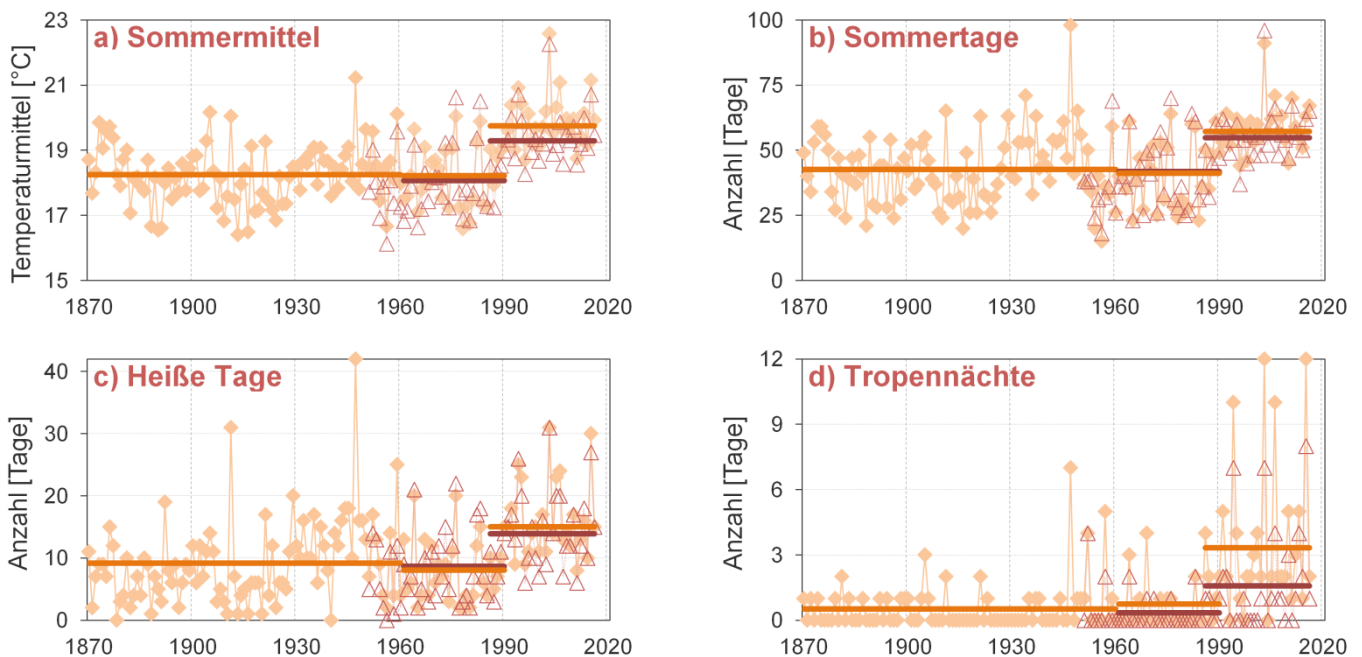


Abb. 6: Übersicht verschiedener Temperaturkenntage zur Charakterisierung der Sommerwärme für 1870-2016; Linien: 11-jährig gleitende Mittelwerte; orangefarbige Markierungen/Linien beziehen sich auf die Zeitreihe Frankfurt-Innenstadt, rote Markierungen/Linien auf die Kombination Innenstadt bis 1950/Flughafen ab 1951; Mittelwerte 1870-1960, 1961-1990 und 1986-2015; Sommermittel: Juni, Juli, August; Anzahl Kenntage: Jahressumme von Sommertagen/ heißen Tagen (Maximum $\geq 30^\circ\text{C}$) und Tropennächten (Minimum $\geq 20^\circ\text{C}$)

4 Niederschlag

Die Niederschlagsverteilung einer Region und auch einer Stadt ist selbst in ihren langjährigen Mittelwerten – bei entsprechender topographischer Gliederung sogar bedeutenden – Variationen unterworfen, die vorrangig mit dem Einfluss und der zeitlichen Verteilung von Anströmrichtungen und Großwetterlagen erklärt werden können. Der nordwestlich von Frankfurt/Main gelegene Taunus schwächt die von Nordwest und West kommenden Niederschlagsgebiete ab, während sich die selteneren, aus südlichen und östlichen Richtungen kommenden Niederschlagsgebiete im Luv des Taunus eher intensivieren. Zusätzlich beeinflussen weitere nahe Mittelgebirge den Frankfurter Raum, insbesondere Spessart und Odenwald.

Die unterschiedliche Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge im Frankfurter Raum – hier dargestellt für den Zeitraum 1951–2000 – orientiert sich an diesen Gegebenheiten (Abb. 7). Der 50-jährige Zeitraum wurde kürzeren Perioden vorgezogen, um den Einfluss von zufälligen Einzelereignissen soweit als möglich zu minimieren. Sulzbach, wenngleich auf gleicher Höhenlage wie Frankfurt-Stadt und nur wenige Kilometer weiter westlich gelegen, profitiert mit im Vergleich über 50 mm Jahresniederschlag mehr von der unmittelbaren Taunusnähe (Abb. 7). Diese Station hat in jeder der sechs Dekaden seit den 1950er Jahren die höchste mittlere Niederschlagsmenge aller Stationen zu verzeichnen. Die im Vergleich zu den anderen Stationen ebenfalls höheren Werte in Neu-Isenburg und Heusenstamm sind wahrscheinlich auf die Nähe zu den südöstlich von ihren Standorten beginnenden Hügelketten zurückzuführen.

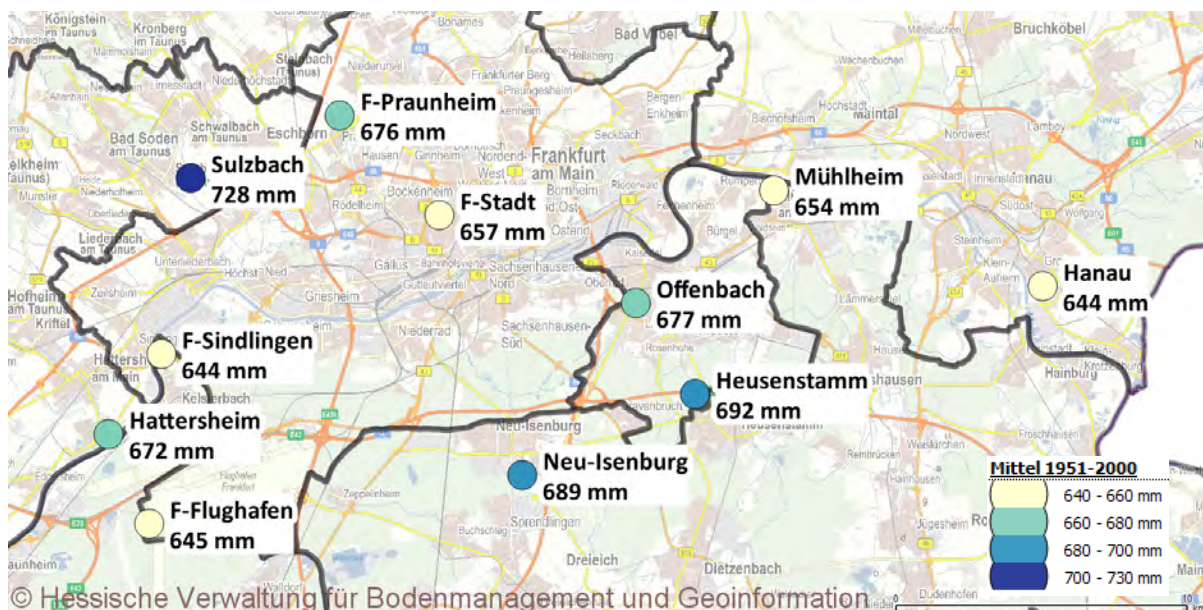


Abb. 7: Mittlere Jahressumme des Niederschlags verschiedener Niederschlagsmessstationen im Raum Frankfurt/Main für den Zeitraum 1951–2000 (für Lücken/verkürzte Zeiträume siehe Tab. 2)

Die Verteilung des mittleren täglichen Niederschlags über den Gesamtzeitraum (1870–2015) zeigt vier recht gut voneinander abgrenzbare Niederschlagsniveaus (Abb. 8): 1) vergleichsweise geringe Niederschlagsmengen von der zweiten Januardekade bis zur zweiten Aprildekade⁵, 2) ein mittleres Niveau im kurzen Zeitraum von Ende April bis zur zweiten Maidekade, 3) hohe Niederschlagsmengen von Ende Mai bis August und 4) ein mittleres Niveau im Rest des Jahres (September bis Anfang Januar). Eine Abbildung der jährlichen Zeitreihe der Jahresniederschlagsmenge für den Gesamtzeitraum 1870–2015 wird in diesem Beitrag nicht gezeigt, da die Belastbarkeit der Veränderungen vor 1951 aufgrund von fehlenden Metadaten und wechselnden Standorten als nicht gesichert angesehen werden kann.

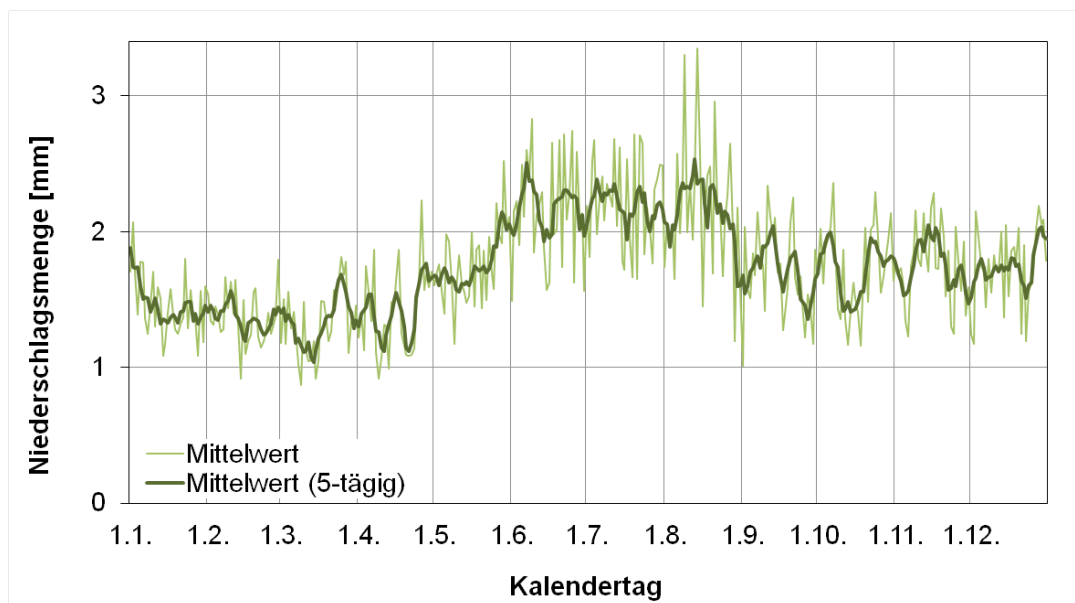


Abb. 8: Jahresgang der mittleren täglichen Niederschlagsmenge Frankfurt/Main (1870 –2015; bis 1950: Innenstadt; ab 1951: Flughafen)

Für die Niederschlagsstatistik der Frankfurter Reihe (Tab. 5) wird die kombinierte, auf den Standortwechsel nicht homogenisierte Zeitreihe täglicher Werte der Frankfurter Stadtstation (bis 1950) und dem Standort am Flughafen (ab 1951) verwendet. Im oberen Teil der Tabelle werden die Mittelwerte der Klimanormalperiode 1961–1990 und der vergangenen 30 Jahre 1986–2015 für den Standort am Flughafen gezeigt. Der Monat mit der höchsten mittleren Niederschlagsmenge verschiebt sich je nach betrachteter langjähriger Periode im Laufe der Zeit, befindet sich aber immer im Sommer (Juni, Juli oder August).

Das jährliche Niederschlagsminimum verschob sich in jüngster Zeit vom Februar (40 mm in der Periode 1961–1990) in den April hinein (37 mm in der Periode 1986–2015; Tab. 5). Seit Ende der 1980er Jahre fiel in ca. der Hälfte aller Aprilmonate häufig deutlich weniger als 30 mm Monatsniederschlag. Insgesamt ist am Frankfurter Flughafen in den vergangenen 30 Jahren (1986–2015) im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 ein Niederschlagsrückgang um ca. 10 % zu beobachten, der fast

ausschließlich auf geringere Niederschläge im November und von März bis Juni zurückzuführen ist. Fehlender Niederschlag in der Pflanzenwachstumsphase stellt insbesondere für die Landwirtschaft eine Herausforderung dar.

⁵ Als Dekaden werden in der Meteorologie neben den üblichen Zehnjahreszeiträumen auch Monatsdrittel bezeichnet (1. Dekade: 1.-10.; 2. Dekade: 11.-20.; 3. Dekade: 21.-Monatsende)

		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1961–1990	mm	43	40	51	51	62	69	64	64	48	50	60	55	658
1986–2015	mm	44	41	43	37	55	58	67	58	51	52	49	54	604
Tägl. Maximum	mm	33,7	25,1	32,4	33,2	55,3	65	82,7	109,7	44	44,4	41,2	64	109,7
	Jahr	1936	1962	1957	1871	1944	1930	1999	1981	1967	1894	1939	1891	1981
Nasseste Periode	mm	119	119	115	110	158	182	203	223	149	169	153	160	1057
	Jahr	1995	1977	2001	1965	1978	1961	1882	1922	1957	1923	1872	1993	1965
Trockenste Periode	mm	2,3	0,8	3,3	0,1	4,3	9	1	1,4	0,7	3,9	1,1	1,1	354
	Jahr	1996	1896	1929	2007	1896	1962	1921	1991	1890	1908	2011	1890	1921

Tab. 5: Niederschlagsstatistik von Frankfurt/Main für 1870–2015 (bis 1950: Innenstadt; ab 1951: Flughafen); Mittelwerte für die Zeiträume 1961–1990 und 1986–2015 und Extremwerte mit den Jahren ihres Auftretens

Im Gegensatz zur Temperatur sind Niederschlagsveränderungen selbst bei nachgewiesener Homogenität der Zeitreihe nicht zwangsläufig regional einheitlich. Leider wurden die meisten der hier verwendeten Niederschlagsstationen im Frankfurter Raum zwischen 1995 und 2008 stillgelegt, so dass der Niederschlagsrückgang am Flughafen (1986–2015 vs. 1961–1990) nur mit den Standorten Mühlheim (vergleichbarer Rückgang der Niederschlagsmenge) und Frankfurt-Stadt (keine Veränderung der Jahresmenge; Aussage aufgrund von Standortveränderungen nicht gesichert, siehe Tab. 2) verglichen werden kann. Im Hessischen Landesmittel ist nur ein geringer Rückgang von 10 mm festzustellen, so dass die deutliche Veränderung am Flughafen im Zweifelsfall ein eher lokales Phänomen darstellt, das nur bedingt regionale Aussagekraft besitzt.

Bei Einbeziehung des Stationskollektives (Tab. 3; Daten ab 1951) waren die 1960er und 1980er Jahre an allen Stationen die nassesten Dekaden und die 1970er Jahre das trockenste Jahrzehnt. Die Jahre 1965 und 1981 treten dabei mit um oder über 1.000 mm/Jahr besonders hervor, alle anderen Jahre weisen flächendeckend, an allen hier betrachteten Stationen, weniger als 900 mm/Jahr auf. In der langen Frankfurter Reihe erreicht nur das Jahr 1882 noch ähnlich hohe Werte. Mit Ausnahme von Sindlingen war 1976 überall das trockenste Jahr.

Die trockensten und nassesten Monate sowie die höchsten täglichen Niederschläge in der kombinierten Frankfurter Reihe sind in Tab. 5 ersichtlich. Die für Abb. 8 beschriebenen vier Niederschlagsniveaus werden auch bei Betrachtung der nassen Extreme sichtbar, sowohl auf Monats- als auch Tagesbasis. Von Januar bis April werden maximal etwas mehr als 30 mm Tagesniederschlag und Monatssummen von nur wenig über 100 mm erreicht. Eine mittlere Position nimmt das Jahresende mit Tages-

niederschlagsmengen über 40 mm (Dezember einmalig 65 mm, zweithöchster Wert 40,9 mm) und maximalen Monatsniederschlägen von zumeist etwas mehr als 150 mm ein. Von Juni bis August treten hingegen z.T. sehr hohe tägliche und monatliche Extreme auf.

Große Niederschlagsmengen in kurzer Zeit (wenige Minuten bis zu einem Tag) fallen im Frankfurter Raum zumeist zwischen Mai und August (Tab. 5). Von 1870 bis 2015 traten in der kombinierten Innenstadt-Flughafen-Reihe insgesamt 22 Ereignisse mit mehr als 50 mm Niederschlag in 24 Stunden auf, die sich mit einer Ausnahme (15. Dezember 1891) in der erwähnten Periode befanden. An fünf Tagen – alle im Hochsommer (Juli und August) gelegen – fielen mehr als 70 mm Niederschlag. Auch bei Betrachtung aller im Frankfurter Raum verfügbaren Zeitreihen (Tab. 3) traten Niederschlagssummen über 70 mm nur zwischen dem 25. Juni und dem 30. August auf.

Solche Niederschlagsmengen in kurzen Zeiträumen führen zu einer Vielzahl von Problemen – angefangen von Hochwasser auch größerer Flüsse bei großflächigen Ereignissen, bis hin zu Sturzfluten und lokalen, häufig sehr plötzlich auftretenden Überflutungen bei kleineren, häufig konvektiv bedingten Vorfällen. Hinzu kommen in beiden Fällen Bodenerosions- und Hangrutschungsgefahren.

Mit Ausnahme von Hattersheim⁶ traten die höchsten 24-stündigen Niederschlagsmengen aller im Frankfurter Raum gelegenen Stationen (bezogen auf die in Tab. 3 angegebene Datenverfügbarkeit) am 9. August 1981 auf. Drei Stationen hatten mehr als 100 mm Niederschlag vorzuweisen (Frankfurt-Flughafen, Hattersheim

⁶ Hier hatte ein Starkregenereignis am 6. Juli 1999 eine etwas höhere Menge aufzuweisen (106,7 mm; am 9. August 1981 fielen „nur“ 102,8 mm)

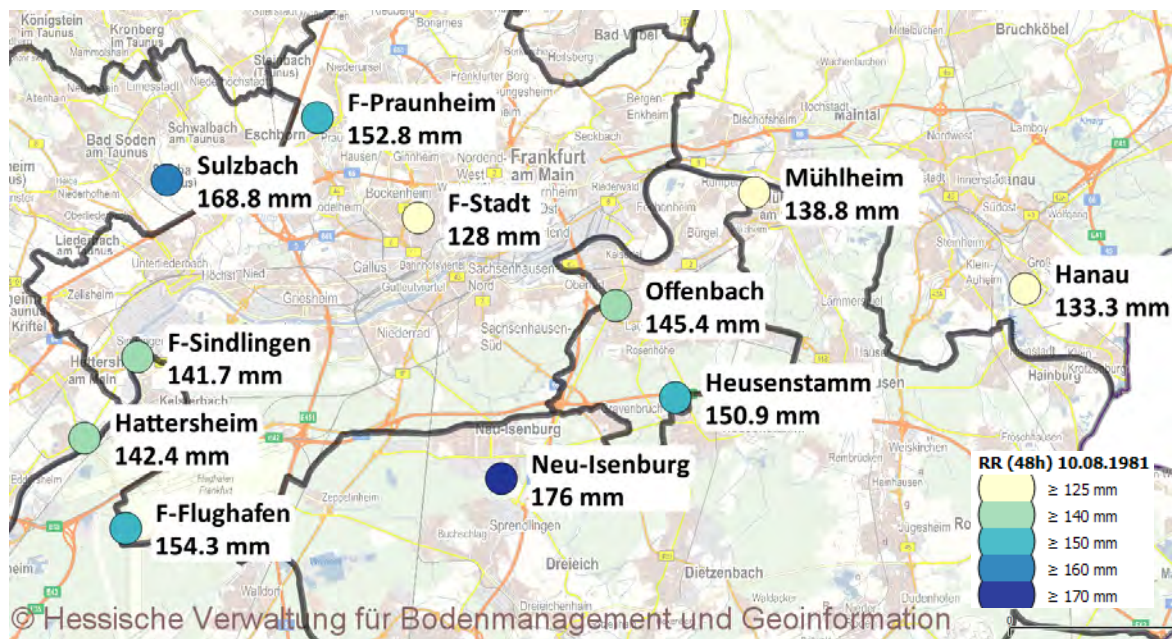


Abb. 9: 48-stündige Summe der Niederschlagsmenge am 9./10. August 1981

und Neu-Isenburg), an allen Stationen fielen mindestens 70 mm. Da sich die starken Niederschläge bis in den Folgetag (10. August) hinein erstreckten, kamen so im Raum Frankfurt in 48 Stunden zwischen 128 mm (Frankfurt-Stadt) und 176 mm Niederschlag (Neu-Isenburg) zusammen (Abb. 9). An beiden Tagen lag ein quasi-stationäres Niederschlagsband über der Mitte Deutschlands, aus dem es langanhaltend und ergiebig regnete. Der meiste Niederschlag fiel dabei in einem Streifen, der sich vom Frankfurter Raum bis ins östliche Thüringen hinein erstreckte.

Eine vergleichbare Situation, wenn auch mit flächig gesehen etwas geringeren Niederschlagsmengen, herrschte am 6. Juli 1999 vor - die Niederschlagsmaxima traten hier zwischen dem nordöstlichen Hunsrück und dem südöstlichen Frankfurt auf. Erwähnt werden soll noch das Ereignis vom 14. und 15. August 1922, bei dem in Frankfurt-Stadt 149 mm in 48 Stunden fielen, zu je gleichen Teilen gesplittet zwischen beiden Tagen. Hier liegen leider noch keine Vergleichsdaten naher Stationen vor⁷. Die Temperaturgegensätze zwischen Nord- und Süddeutschland und hohe Niederschlagssummen von Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg bis nach Thüringen/Südsachsen suggerieren jedoch eine Luftmassengrenze, die sich nur langsam in Richtung Alpen verlagerte.

5 Zusammenfassung und Fazit

Der vorliegende Beitrag widmet sich der Betrachtung der langfristig vorliegenden Klimadaten aus Frankfurt/Main Innenstadt (seit 1758 bzw. 1870) und Frankfurt/Main Flughafen (seit 1951). Dabei werden Mittelwerte und Veränderungen im Temperatur- und Niederschlagsregime auf verschiedenen Zeitskalen analysiert. Der Beitrag erweitert das Spektrum klimatologischer Betrachtungen im

hessischen, aber auch deutsch-europäischen Raum und gibt einen aktuellen Einblick in gegenwärtig zu beobachtende Klimaveränderungen, u.a. durch Nutzung des aktuellen 30-jährigen Zeitraums 1986–2015.

In Kap. 2 werden **Datengrundlage und -qualität** der Frankfurter Klimazeitreihen ausführlich diskutiert. Die Zeitreihe der jährlichen Lufttemperatur seit 1758 basiert vor dem Jahr 1870 auf alten Quellenangaben, die im Laufe der Zeit von mehreren Wissenschaftlern akribisch überprüft und ausgewertet wurden. Die in täglicher Auflösung seit 1870 vorliegenden Klimadaten sind über den DWD digital zugänglich, inklusive verschiedener Metadaten zu den Zeitreihen. In diesem Beitrag werden die Daten von Lufttemperatur (tägliche Mittelwerte, Minima und Maxima) und Niederschlag (tägliche Summe) verwendet. Zwei kleinere Lücken der Innenstadtstation wurden über nahegelegene Nachbarstationen gefüllt. Der Einfluss von Urbanisierungseffekten auf die Lufttemperatur wird im Vergleich von Innenstadt- und Flughafenstation diskutiert. Elf in und um Frankfurt gelegene Niederschlagsmessstationen werden verwendet, um der (gegenüber der Lufttemperatur) deutlich größeren Heterogenität des Parameters Niederschlag Rechnung zu tragen.

Veränderungen der Lufttemperatur seit 1758 (auf jährlicher Basis) bzw. 1870 (auf täglicher Basis) werden in Kap. 3 analysiert. Stärkstes Änderungssignal ist die sehr deutliche Erwärmung seit 1988. In der 260-jährigen Zeitreihe überlagert die natürliche Jahr-zu-Jahr-Variabilität bis in die 1980er Jahre hinein zumeist langzeitliche

⁷ Fortlaufende Digitalisierungsbemühungen des Deutschen Wetterdienstes lassen eine digitale Verfügbarkeit bisher nur in Archiven greifbarer Klimadaten erhoffen.

Trendentwicklungen, seit 1988 waren jedoch 24 der 28 Jahre (zumeist deutlich) wärmer als jedes andere Jahr in den 230 Jahren zuvor. Die seit 1758 gültige klimatische Schwankungsbreite von 1 K (basierend auf 30-jährig gleitenden Mittelwerten) wurde in den vergangenen 30 Jahren (1986–2015) aufgrund des starken Temperaturanstiegs auf 2 K verdoppelt. Gleichzeitig traten seit 1988 kaum noch Kälterekorde, dafür umso mehr Wärmerekorde auf. Warme Extreme kamen seitdem etwa dreimal so häufig wie statistisch erwartbar vor.

Die Erwärmung der vergangenen 30 Jahre (1986–2015, verglichen mit 1961–1990) trat ganzjährig auf, am deutlichsten im Januar, April und August, am geringsten im September und Oktober. Der Zeitpunkt der tiefsten jährlichen Temperaturen hat sich vom sog. „Hochwinter“ Mitte Januar in den vergangenen 30 Jahren in Richtung Ende Januar/Anfang Februar verschoben, die im Mittel höchsten Temperaturen traten weiterhin zu den sog. „Hundstagen“ Ende Juli/Anfang August auf. Die tiefsten Wintertemperaturen wurden vor langer Zeit aufgezeichnet – im 18. und 19. Jahrhundert traten selbst in der Frankfurter Innenstadt nicht selten Winter mit Tiefstwerten unter -20°C auf (Minimum: $-27,9^{\circ}\text{C}$ am 2.2.1830). Die höchsten Temperaturen wurden hingegen am Ende der Zeitreihe im Sommer 2015 gemessen, wo am 7. August an der Station in der Frankfurter Innenstadt fast 40°C erreicht wurden ($39,6^{\circ}\text{C}$). Im Vergleich mit einem Kollektiv von 42 langjährigen europäischen Klimastationen von England bis in die Ukraine stellte die Frankfurter Überschreitung der früheren Rekordwerte den deutlichsten Temperatursprung dar (HOY et al. 2016).

Variationen des Niederschlags, die in Kap. 4 betrachtet werden, sind räumlich und zeitlich deutlich heterogener als die der Temperatur. Die jährlichen Mittelwerte der Niederschlagssumme im Zeitraum 1951–2000 liegen in der Frankfurter Region (ohne Taunus) zwischen 644 und 728 mm bei recht ähnlicher Höhenlage (88 bis 130 m). Die Ungleichheiten sind voranging durch die je nach Anströmrichtung wirksame unterschiedliche topografische Beeinflussung bedingt. Die im langjährigen Durchschnitt geringsten Niederschlagsmengen fallen von Mitte Januar bis Mitte April, während insbesondere von Anfang Juni bis Mitte August im Mittel vergleichsweise hohe tägliche Mengen registriert werden. In den vergangenen 30 Jahren (1986–2015, verglichen mit 1961–1990) verschob sich das jährliche Niederschlagsminimum vom Februar in den April hinein.

Aufgrund der starken jährlichen sowie dekadischen Schwankungen der Niederschlagsmenge kann, auch bei Verwendung der Frankfurter Innenstadtdaten ab 1870, keine gesicherte Tendaussage aus den beobachteten Veränderungen abgeleitet werden. Entscheidende Faktoren sind hier auch Unsicherheiten und Veränderungen in den Messmethoden und -geräten. Seit 1951 waren die 1960er und 1980er Jahre an allen Stationen

am nassesten und die 1970er Jahre am trockensten. Sehr hohe Niederschlagsmengen in kurzer Zeit fallen zumeist zwischen Mai und August. Extrem hohe Tagesniederschlagsmengen über 70 mm traten an allen elf Stationen allerdings nur im Juli und August auf. Die auch flächendeckend größten Niederschlagsmengen seit 1951 fielen am 9. und 10. August 1981 und am 6. Juli 1999 mit z.T. über 100 mm Niederschlag in 24 Stunden.

Abschließend sei bemerkt, dass Variationen klimatischer Verhältnisse per se natürliche Phänomene sind, die dem Begriff des Klimas inhärent sind. Konstante klimatische Verhältnisse existieren nicht und haben zu keiner Zeit an keinem Ort der Erde existiert. Im erdgeschichtlichen Kontext waren die globalen klimatischen Verhältnisse der vergangenen Jahrtausende sogar bemerkenswert konstant. Dennoch sind die in den rezenten Jahrzehnten weltweit beobachteten klimatischen Veränderungen im Kontext der vergangenen Jahrhunderte einmalig. Dies trifft insbesondere auf Veränderungen der Lufttemperatur zu. Diese lassen sich anhand von z.T. seit dem 17. Jahrhundert vorliegenden Messreihen aus Paris (seit 1658; ROUSSEAU 2015), Mittelengland (seit 1659; MANLEY 1974, aktualisiert) und weiteren europäischen Standorten nach dem Jahr 1700, sowie der von verschiedenen Instituten (z.B. NASA, NOAA, CRU, BerkeleyEarth) erhobenen globalen Durchschnittstemperatur belegen. Eine proxybasierte Rekonstruktion europäischer Sommertemperaturen bestätigt die klimatische Außergewöhnlichkeit der rezenten Dekaden für den europäischen Sommerzeitraum (Juni bis August) sogar für die vergangenen zwei Jahrtausende (LUTERBACHER et al. 2016). In der zitierten Studie war der (auch hier verwendete) rezente Zeitraum 1986–2015 die wärmste Periode überhaupt. Die für Frankfurt/Main in diesem Beitrag seit 1758 bzw. 1870 diskutierten Temperaturveränderungen ordnen sich in dieses Gesamtbild ein und erweitern es auf regionaler Ebene.

6 Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Schönwiese (Goethe Universität Frankfurt/Main, emeritiert) für Quellenhinweise und Diskussionsmöglichkeiten, ebenso bei den Kolleginnen des Fachzentrum Klimawandel Hessen für die kritische Durchsicht der Arbeit. Außerdem herzlichen Dank an die Bibliothek des HLNUG sowie die Hochschul- und Landesbibliothek Rhein-Main für die Bereitstellung z.T. sehr alter Literaturquellen.

7 Literatur

- AUER, I., BÖHM, R., SCHÖNER, W. (2001): Austrian Long-term Climate 1767 - 2000: Multiple Instrumental Climate Time Series from Central Europe. In: Österr. Beiträge Meteorol. Geophys. 25. ZAMG, Wien, 155 S.
- ANIOL, R. (1954): Über starke Niederschläge im Gebiet Taunus – Odenwald. Ber. Dt. Wetterdienst 11. Offenbach a. M., 16 S.
- AUGTER, G. (2013): Vergleich der Referenzmessungen des Deutschen Wetterdienstes mit automatisch gewonnenen Messwerten. 2. Aufl., Ber. Dt. Wetterdienst 238. Offenbach a. M., 61 S.
- BÖHM, R., JONES, P.D., HIEBL, J., FRANK, D., BRUNETTI, M., MAUGERI, M. (2010): The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperature series 1760–2007. *Clim. Change* 101(1-2): 41–67. DOI: 10.1007/s10584-009-9649-4.
- BRÁZDIL, R., BĚLÍNOVÁ, M., DOBROVOLNÝ, P., MIKŠOVSKÝ, J., PIŠOFT, P., ŘEZNÍČKOVÁ, L., ŠTĚPÁNEK, P., VALÁŠEK, H., ZAHRADNÍČEK, P. (2012): History of Weather and Climate in the Czech Lands IX. Temperature and Precipitation Fluctuations in the Czech Lands During the Instrumental Period. Masaryk University, Brno, 236 S., ISBN 978-80-210-6052-4.
- BRINCKMANN, S. (2005): Anwendung der schrittweisen Regression auf Temperatur-Zeitreihen zur Separierung anthro-pogener und natürlicher Einflüsse. Diplomarbeit. Univ. Frankfurt a. M., 116 S.
- EISENHARDT, T. (1968): Klimaschwankungen im Rhein-Main-Gebiet seit 1880. Bundesforschungsanstalt für Landes-kunde und Raumordnung. Bad Godesberg., ca. 200 S.
- FRÜH, B., KOßMANN, M., ROOS, M. (2011): Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. Ber. Dt. Wetterdienst 237. Offenbach a. M., 68 S.
- GRIESEL, H. (1988): Das Klima von Frankfurt 1756–1980. Diplomarbeit. Univ. Frankfurt a. M., 266 S.
- HIEN, S. (2012): Höhengradient des Niederschlags im Taunus. Bachelorarbeit. Univ. Frankfurt a. M., 62 S.
- HOY, A., HÄNSEL, S., SKALAK, P., USTRNUL, Z., BOCHNÍČEK, O. (2016): The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective. *Int. J. Climatol.* doi: 10.1002/joc.4751.
- KASPAR, F. & HANNAK, L. (2016): Zur Auswirkung der Automatisierung der Temperaturmessungen auf die Messreihen des Deutschen Wetterdienstes. *Mitteilungen DMG* 02/2016, S. 8-9.
- LUTERBACHER, J. et al. (2016): European summer temperatures since Roman times. *Env. Res. Letters* 11, 024001, doi: 10.1088/1748-9326/11/1/024001.
- MANLEY, G. (1974) Central England Temperatures: monthly means 1659 to 1973. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 100: 389-405.
- MOLLWO, H. (1958) Klimawerte von Frankfurt/Main 1857-1956. Ber. Dt. Wetterdienst 43. Offenbach a. M., 60 S.
- PARKER, D.E. (1994): Effects of changing exposure of thermometers at land stations. *Int. J. Climatol.* 14(1): 1–31. DOI: 10.1002/joc.3370140102.
- RAPP, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. Ber. Dt. Wetterdienst 2012. Offenbach a. M., 145 S.
- RAPP, J. & SCHÖNWIESE, C.D. (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891–1990. *Frankfurter Geowiss. Arb.*, Bd. B5, 2. Aufl., Frankfurt a. M.
- ROUSSEAU, D. (2015) Variabilité des températures mensuelles à Paris de 1658 à 2014. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 597-602.
- SCHÖNWIESE, C.D. (2015): Die Temperaturreihe Frankfurt a. M. 1758–2014. *Mitteilungen DMG* 02/2015, S. 8.
- WACHTER, H. (1939): Das Klima von Frankfurt am Main, Nachtrag III. Ber. Meteor.-Geophys. Inst. Frankfurt a. M. 5. ,31 S.
- WINKLER, P. (2009): Revision and necessary correction of the long-term temperature series of Hohenpeissenberg, 1781–2006. *Theor. Appl. Climatol.* 98(3-4): 259–268. doi: 10.1007/s00704-009-0108-y.
- ZIEGLER, J. & KÖNIG, W. (1896): Das Klima von Frankfurt am Main. Frankfurt a. M., 68 S.
- ZIEGLER, J. & KÖNIG, W. (1901): Das Klima von Frankfurt am Main, Nachtrag. Frankfurt a. M., 51 S.

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AO	Arctic Oscillation
CMSAF	Climate Monitoring Satellite Application Facility
CPC	Climate Prediction Center
DU	Dobson Unit
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECA&D	European Climate Assessment & Dataset
EM	European-Modell
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GME	Globalmodell
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
ICON	ICOsahedral Nonhydrostatic model
KSB	Klimastatusbericht
NAO	nordatlantische Oszillation
NCEP	National Centers for Climate Prediction (USA)
nFK	nutzbare Feldkapazität
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RA	Regional Association (der WMO)
RCC	Regional Climate Centre (der WMO)
SYNOP	Bodenwettermeldung von einer ortsfesten Landstation
UTC	Universal Time Coordinated
WMO	World Meteorological Organization
WZN	Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie

Autorenverzeichnis

Becker, Andreas	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Andreas.Becker@dwd.de
Fildebrandt, Jens	Deutscher Wetterdienst Bundesallee 50 38116 Braunschweig	Jens.Fildebrandt@dwd.de
Friedrich, Karsten	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Karsten.Friedrich@dwd.de
Gerber, Marie	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Marie.Gerber@dwd.de
Hoy, Andreas	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) Rheingastr. 186 65203 Wiesbaden	andreas.hoy@hlnug.hessen.de
Imbery, Florian	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Florian.Imbery@dwd.de
Köhler, Ulf	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Ulf.Koehler@dwd.de
Kühl, Laura		Laura.Kuehl@gmx.ch
Lefebvre, Christiana	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Christiana.Lefebvre@dwd.de
Löpmeier, Franz-Josef	Deutscher Wetterdienst Bundesallee 50 38116 Braunschweig	Franz-Josef.Loepmeier@dwd.de
Mächel, Hermann	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Hermann.Maechel@dwd.de
Pietzsch, Saskia	Deutscher Wetterdienst Frankfurter str. 135 63067 Offenbach	Saskia.Pietzsch@dwd.de
Steinbrecht, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Wolfgang.Steinbrecht@dwd.de
Wegener, Mareen	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Mareen.Wegener@dwd.de

Zimmermann, Kirsten

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach

Kirsten.Zimmermann@dwd.de

